

(51) Int.Cl.<sup>a</sup>  
 B 6 0 L 11/18  
 H 0 1 M 8/00  
 8/04  
 8/12

識別記号

F I  
 B 6 0 L 11/18  
 H 0 1 M 8/00  
 8/04  
 8/12

G  
Z  
Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 53 頁)

(21)出願番号 特願平8-509512  
 (86) (22)出願日 平成7年(1995)8月16日  
 (85)翻訳文提出日 平成9年(1997)3月7日  
 (86)国際出願番号 PCT/US95/10481  
 (87)国際公開番号 WO96/07560  
 (87)国際公開日 平成8年(1996)3月14日  
 (31)優先権主張番号 08/3001, 806  
 (32)優先日 1994年9月7日  
 (33)優先権主張国 米国(US)  
 (81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
 DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M  
 C, NL, PT, SE), AU, CA, CN, FI, J  
 P, KR, NO, NZ, RU

(71)出願人 ウエスチングハウス・エレクトリック・コ  
ーポレーション  
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
 15222, ピツバーグ, ゲイトウェイ・セ  
ンター ウエスチングハウス・ビルディン  
グ(番地なし)  
 (72)発明者 ウォルフエ, ウィリアム, アール  
 アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
 15235, ピツバーグ, アイルウッド・  
ロード 253  
 (74)代理人 弁理士 加藤 篤一郎 (外2名)

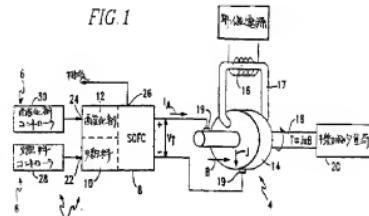
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】燃料電池により駆動される推進システム

## (57)【要約】

燃料入力(22)と酸化剤入力(24)が制御される固体酸化物燃料電池(SOFC)(8)により成る、電気モータ(4)を駆動する装置。この装置は燃料電池(8)の排気ガスにより駆動されるタービン(104)と組合せることができる。タービン(104)は発電機を駆動し、発電機の出力(102)は燃料電池の出力(96)を補充して電気モータ(4)を給電する。酸化剤はタービン(104)により駆動されるコンプレッサ(98)により圧縮することができる。電気モータ(4)は界磁制御電流が制御される直流単極モータである。コントローラ(40')は燃料入力(90), コンプレッサの酸化剤入力(108)または界磁制御電流を制御できる。

FIG. I



【特許請求の範囲】

1. 燃料入力（2 2）と酸化剤入力（2 4）を有し、電気モータ（4）へ直接電力を供給する燃料電池手段（8）と、  
前記燃料電池手段（8）の燃料入力（2 2）及び酸化剤入力（2 4）の少なくとも一方を制御する制御手段（6， 4 0）によりなる、  
電気モータ（4）を給電するための装置（2， 3 2）。
2. 前記燃料電池手段（8）は固体酸化物燃料電池（S O F C）（8）である請求項1に記載の装置（2， 3 2）。
3. 前記燃料電池手段（8）の燃料入力（2 2）は炭化水素燃料を用いる請求項1に記載の装置（2， 3 2）。
4. 前記燃料電池手段（8）の燃料入力（2 2）は水素、一酸化炭素、水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択された燃料を用いる請求項1に記載の装置（2， 3 2）。
5. 前記電気モータ（4）は直流電力により給電される単極モータ（4）であり、前記燃料電池手段（8）は単極モータ（4）へ直接直流電力を供給する請求項1に記載の装置（2， 3 2）。
6. 前記制御手段（6， 4 0）は前記燃料電池手段（8）の燃料入力（2 2）を制御する燃料制御手段（2 8）と、前記燃料電池手段（8）の酸化剤入力（2 4）を制御する酸化剤制御手段（3 0）を含む請求項1に記載の装置（2， 3 2）。
7. 前記電気モータ（4）は界磁電流を有し、前記制御手段（6， 4 0）はさらに前記電気モータ（4）の界磁電流を制御する界磁制御手段（4 2， 4 4）を含む請求項6に記載の装置（2， 3 2）。
8. 前記電気モータ（4）は直流電力により駆動される単極モータ（4）であり、前記燃料電池手段（8）は単極モータ（4）へ直流電力を直接供給する請求項7に記載の装置（2， 3 2）。
9. モータ電力入力（8 8）を含む、輸送機関（7 6）を駆動するための電気モータ手段（7 8）と、  
燃料入力（9 0），酸化剤入力（9 2），熱排気出力（9 4）及び燃料電池電

力出力（9 6）を有する、燃料電池電力を与える燃料電池手段（8 0）と、

ターピン-発電機出力を与えるためのターピン-発電機手段（8 2）であって、発電機電力出力（1 0 2）を発生する発電機手段（1 0 0）と、前記発電機手段（1 0 0）を駆動するためのターピン手段（1 0 4）とを含み、前記ターピン手段（1 0 4）の熱排気入力（1 0 6）は前記燃料電池手段（8 0）の熱排気出力（9 4）に相互接続され、発電機電力出力（1 0 2）が燃料電池電力出力（9 6）を補充して前記電気モータ手段（7 8）のモータ電力入力（8 8）の電力を発生させるターピン-発電機手段（8 2）と、

前記燃料電池手段（8 0）の燃料入力（9 0）及び酸化剤入力（9 2）のうちの少なくとも一方を制御する制御手段（4 0 ～）とよりなる、

輸送機関（7 6）を駆動する装置（7 4, 7 8, 1 2 4）。

1 0. 前記電気モータ手段（7 8）は単極モータ（7 8）であり、モータ電力入力（8 8）は直流電流により給電され、燃料電池電力出力（9 6）は燃料電池電流を有し、発電機電力出力（1 0 2）は燃料電池電流に付加されて単極モータ（7 8）のモータ電力入力（8 8）の直流通電流を形成する発電機電流を有する請求項9に記載の装置（7 4, 7 8, 1 2 4）。

1 1. 前記燃料電池手段（8 0）は固体酸化物燃料電池（S O F C）（8 0）である請求項9に記載の装置（7 4, 7 8, 1 2 4）。

1 2. 前記燃料電池手段（8 0）の燃料入力（9 0）は炭化水素燃料を用いる請求項9に記載の装置（7 4, 7 8, 1 2 4）。

1 3. 前記燃料電池手段（8 0）の燃料入力（9 0）は水素、一酸化炭素、水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択された燃料を用いる請求項9に記載の装置（7 4, 7 8, 1 2 4）。

1 4. モータ電力入力（8 8）を含む、海上輸送機関（7 6）を駆動するための電気モータ手段（7 8）と、

燃料入力（9 0）、酸化剤入力（9 2）、熱排気出力（9 4）及び燃料電池電力出力（9 6）を有する、燃料電池電力を与える燃料電池手段（8 0）と、

ターピン-発電機出力を与えるためのターピン-発電機手段（8 2）であって

、酸化剤を加圧するためのコンプレッサ手段（98）と、発電機電力出力（102）を発生する発電機手段（100）と、前記コンプレッサ手段（98）と前記発電

機手段（100）とを駆動するためのターピン手段（104）とを含み、前記ターピン手段（104）の熱排気入力（106）は前記燃料電池手段（80）の熱排気出力（94）に相互接続され、前記コンプレッサ手段（98）は酸化剤入力（108）と、燃料電池酸化剤入力（92）に相互接続された酸化剤出力（110）とを有し、発電機電力出力（102）が燃料電池電力出力（96）を補充して前記電気モータ手段（78）のモータ電力入力（88）の電力を発生させるターピン発電機手段（82）と、

前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）及びコンプレッサ酸化剤入力（108）のうちの少なくとも一方を制御する制御手段（40'）によりなる、海上輸送機関（76）を駆動する装置（74, 78, 124）。

15. 前記制御手段（40'）は前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）を制御する燃料制御手段（28）と、前記コンプレッサ手段（98）の酸化剤出力（110）を制御する酸化剤制御手段（40', 114）を含む請求項14に記載の装置（74, 78, 124）。

16. 前記電気モータ手段（78）は界磁電流を有し、前記制御手段（40'）はさらに前記電気モータ手段（78）の界磁電流を制御する界磁制御手段（118）を含む請求項15に記載の装置（74, 78, 124）。

17. 前記電気モータ手段（78）は単極モータ（78）であり、単極モータ（78）のモータ電力入力（88）は直流電流により駆動され、前記発電機手段（100）は単極発電機（100）であり、単極発電機（100）の発電機電力出力（102）は直流発電機電流を有し、燃料電池電力出力（96）は直流発電機電流に付加されてモータ電力入力（88）のための直流電流を形成する燃料電池直流電流を有する請求項16に記載の装置（74, 78, 124）。

18. 前記ターピン手段（104）は前記燃料電池手段（80）の熱排気出力（94）に相互接続されたコンバスタ手段（125）を含む請求項14に記載の裝

置（124）。

19. モータ電力入力（88）を含む、陸上輸送機関（76）を駆動するための電気モータ手段（78）と、  
燃料入力（90）、酸化剤入力（92）、熱排気出力（94）及び燃料電池電

力出力（96）を有する、燃料電池電力を与える燃料電池手段（80）と、

ターピン発電機出力を与えるためのターピン発電機手段（82）であって、酸化剤を加圧するためのコンプレッサ手段（98）と、発電機電力出力（102）を発生する発電機手段（100）と、前記コンプレッサ手段（98）と前記発電機手段（100）とを駆動するためのターピン手段（104）とを含み、前記ターピン手段（104）の熱排気入力（106）は前記燃料電池手段（80）の熱排気出力（94）に相互接続され、前記コンプレッサ手段（98）は酸化剤入力（108）と、燃料電池酸化剤入力（92）に相互接続された酸化剤出力（110）とを有し、発電機電力出力（102）が燃料電池電力出力（96）を補充して前記電気モータ手段（78）のモータ電力入力（88）の電力を発生させるターピン発電機手段（82）と、

前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）及びコンプレッサ酸化剤入力（108）のうちの少なくとも一方を制御する制御手段（40')とによりなる、陸上輸送機関（76）を駆動する装置（74, 78, 124）。

20. 前記電気モータ手段（78）は単極モータ（78）であり、単極モータ（78）のモータ電力入力（88）は直流電流により駆動され、前記発電機手段（100）は単極発電機（100）であり、単極発電機（100）の発電機電力出力（102）は直流発電機電流を有し、燃料電池電力出力（96）は直流発電機電流に付加されてモータ電力入力（88）のための直流電流を形成する燃料電池直流電流を有する請求項19に記載の装置（74, 78, 124）。

## 【発明の詳細な説明】

### 燃料電池により駆動される推進システム

#### 関連出願の引照

ここに開示する本願発明は、同時に出願され現在係属中の2つの出願、出願番号第08/301,767号（発明の名称：ハイブリッド燃料電池／タービン発電機システムのブースト発電機；発明者：ドナルド・ダブリュ・ブラウン等；弁護士整理番号第58,458号）及び出願番号第08/301,768号（発明の名称：再構成可能なハイブリッド発電システム；発明者：ドナルド・ダブリュ・ブラウン等；弁護士整理番号第58,457号）に関連がある。

#### 発明の背景

##### 発明の分野

本発明は燃料電池により駆動される推進システムに関し、さらに詳細には、固体酸化物燃料電池からの直流電力により給電され、また固体酸化物燃料電池の排気ガスにより駆動されるタービン発電機からの直流電力により駆動される単極モータを含む輸送機関用のかかるシステムに関する。本発明はまた、固体酸化物燃料電池により直接駆動される単極モータに関する。

##### 背景情報

移動機械のための機械的推進システムは過去2世紀の間進化している。例えば、初期の蒸気船は手漕ぎ船及び帆船の直接代替物であった。他の初期の推進システムは、それ以前の動物による推進システムを改良したか或いはそれにとつて代わるものであった。例えば、初期の蒸気機関車は本質的に、馬の力にとって代わるものであった。今日先進国では、従来動物は主として歴史的珍重物に過ぎないものである。

自動車エンジンは、例えば、定置エンジン技術が進歩し性能パラメータが向上するにつれて定置エンジンから進化した典型的なものである。燃料効率、原動機の体積及び単位体積当たりの重量、固定及び運転コスト、運転信頼度、及び運転

の容易さにおける改善は、自動車用動力としての用途にとって最も重要な動機付けとなっている。蒸気、電気、ガソリン、ディーゼル及びガスタービンエンジン

の優位性は、エンジンの固定コスト、燃料の可変運転コスト、燃料により生じる汚染の量（即ち、環境コスト）、種々のエンジン製造者の市場競争力に左右され消長を重ねてきた。この経済原理による変動は今日でもエンジン業界を支配し統けている。

電池を用いて車両を推進する電気モータを駆動することは周知である。例えば、陸上車両には、運転者の要求に応じてけん引モータを制御するために電子的電力コントローラが常用されている。しかしながら、かかるコントローラには主要電力制御ループに固定損失があるため、それによるエネルギー損失を減少できる余地が存在する。

従来の電気車両と従来の内燃車両との間の主な相違は、エネルギー貯蔵機構（即ち、ガソリンのような液体燃料の代わりに電池を用いる）、及びエンジン（内燃機関の代わりに電子的電力コントローラを含む電気モータを用いる）にある。環境上の観点から、放出物ゼロの電池の使用は、通常炭化水素及び他の汚染物質を発生させる液体燃料より好ましい。しかしながら、電池は汚染源を車両から電池を充電する電気を発生させる発電所に移したものにすぎない。

内燃機関は汚染物質を発生させ非効率であるが、エネルギーを車両内に合理的な量だけ適宜貯蔵し需要に応じて簡単に取り出せる。さらに、かかる車両は適宜また迅速に燃料を補給できる。一方、電池は運転範囲及び充電速度の両面において固有の問題がある。例えば、従来の鉛蓄電池のエネルギー密度（即ち、単位重量または体積当たりのエネルギー）は約  $40\text{ WH/Kg}$  であるのに比し、ガソリンのエネルギーの密度は約  $12,000\text{ WH/Kg}$  である。

燃料電池は当該技術分野において周知である。燃料電池の例は、本明細書の一部を形成するものとして引用する、J. H. Hirschenhofer et al., Fuel Cells Handbook (Revision 3), dated January 1994, U.S. Department of Energy, publication DOE/METC-94/1006 (DE94004072)に記載されている。燃料電池は連続的な電気化学反応により化学燃料から熱と直流電気を発生させるエネルギー発生装置である。

このような種々のエンジンの長所を取り入れながら短所を回避するため単純な

エンジンタイプを技術的に組み合わせることが行われている。この観点で見ると、ターボチャージャ付きディーゼルエンジンは、重量の問題をある程度克服しながら自然吸引式ディーゼルエンジンの効率を維持することに成功している。他にも複合エンジンの製造例があるが、それには電気と燃焼を組合せたハイブリッド型がある。

高エネルギー密度装置（例えば、液体燃料または燃料電池）を高出力（単位重量及び体積当たりの出力）密度（例えば、電池及び／またはフライウイール）装置と共に利用するハイブリッド輸送機関は公知である。高エネルギー密度装置は平均またはベースライン動力を提供する。これとは対照的に、高出力密度装置は加速及び／または登坂のためのピーク動力を提供する。効率の利得は燃料消費量と総排気放出量の両方を改善減少させる動作点から生まれる。例えば、海上輸送機関の場合、迅速な加速に対する厳しい条件は存在しないため出力密度の条件はそれほど重要でない。一方、迅速な加速及び登坂が必要とされる陸上輸送機関では、比較的高い出力密度が必要である。

一般的に、エネルギー貯蔵に関する機能的条件を充分に満たすことは実用的な電気自動車を提供する上で主要な技術的ネックであることが認識されている。駆動用としての特定のニーズを満足させるため、効率がよく、経済的で、軽量の電気モータとそれとコンパチブルな駆動システムとが進化している。従来、直流モータがこの問題に対する主要な解答であったが、現在の選択肢は交流モータのようである。その理由は、交流モータの制御装置は非常に複雑であるが（直流モータに必要なものは単純なチョッパーに過ぎない）、交流モータの方が（従来型）直流モータに比べて簡単で（低コスト）、格段に高い回転速度を得られるためである。

一部の専門家は、制御装置と機械の両方を考えると、交流の駆動装置と従来の直流駆動装置には基本的な違いはほとんど存在しないと信じている。（伝統的な）直流装置はほとんど理想的なけん引モータであるが、高価である。また、伝統的な直流装置の速度には限界があるため、等価的出力条件を実現するためには交流装置よりも大型にする必要がある。複雑で、凝った出力制御用電子装置を用いで

低コストの交流装置を直流けん引装置のように作動することが可能である。

従って、改良型電気駆動輸送機関が必要とされている。

さらに詳細には、ありふれた燃料を用いるかかる輸送機関が必要とされている

。運転範囲が向上したかかる輸送機関が特に必要とされている。

加速能力が向上したかかる輸送機関が特に必要とされている。

正味の総汚染物質量を有意に減少させるかかる輸送機関が特に必要とされている  
る。

固定及び運転コストを減少させるかかる輸送機関が特に必要とされている。

#### 発明の概要

上記及び他の必要性は、電気モータを駆動する装置に係わる本発明により充足される。この装置は、制御機構と、電気モータを直接給電する燃料電池とを含む。燃料電池は燃料入力及び酸化剤入力を有する。制御機構は燃料入力と酸化剤入力の少なくとも一方を制御する。燃料電池は固体酸化物燃料電池（SOFC）でよい。燃料電池の燃料入力は炭化水素燃料を使用する。或いは、燃料電池の燃料入力は水素、一酸化炭素、及び水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択した燃料を使用できる。電気モータは燃料電池から直接供給される直流電力により駆動される単極モータでよい。電気モータは界磁制御電流を有する。

制御機構は燃料電池の燃料入力を制御する燃料制御機構を含む。制御機構はまた、燃料電池の酸化剤入力を制御する酸化剤制御機構を含む。制御機構はさらに電気モータの界磁制御電流を制御する界磁制御機構を含む。

別の例として、この装置は輸送機関駆動用であるが、輸送機関を駆動する電気モータと、燃料電池電力を供給する燃料電池と、発電機電力を供給するタービン-発電機と、制御機構とを含む。電気モータはモータ電力入力を有する。燃料電池は燃料入力、酸化剤入力、熱排気出力及び燃料電池電力出力を有する。燃料電池の燃料入力は炭化水素燃料を用いる。或いは、燃料入力は水素、一酸化炭素、及び水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択した燃料を用いる。タービン-発電機は、発電機電力出力を発生させる発電機と、発電機を駆動するターピンとを含む。タービンはその熱排気入力が燃料電池の熱排気出力と相互接続され

ている。タービンは燃料電池の熱排気出力と相互接続したコンバスタを含む。発

電機電力出力は、電気モータのモータ電力入力のための電力を発生させるため燃料電池電力出力を補充する。燃料電池電力出力は燃料電池電流を有し、また発電機電力出力は発電機電流を有する。発電機電流は燃料電池電流に加えられモータ電力入力のための電流を発生させる。制御機構は燃料電池の燃料入力と酸化剤入力の少なくとも一方を制御する。

別の例として、この装置は海上輸送機関を駆動する。この装置は海上輸送機関を駆動する電気モータと、燃料電池電力を供給する燃料電池と、発電機電力を供給するタービン-発電機と、制御機構とを含む。電気モータはモータ電力入力を有する。燃料電池は燃料入力、酸化剤入力、熱排気出力、燃料電池電流を有する燃料電池電力出力を有する。タービン-発電機は酸化剤を加压するコンプレッサと、発電機電流を有する発電機電力出力を発生させる発電機と、コンプレッサ及び発電機を駆動するタービンとを含む。タービンの熱排気入力は燃料電池の熱発電機出力に相互接続されている。コンプレッサは酸化剤入力と酸化剤出力を有し、その酸化剤出力は燃料電池の酸化剤入力に相互接続されている。

発電機電力出力は、燃料電池の電力出力を補充することにより電気モータのモータ電力入への電力を発生させる。燃料電池電流は発電機電流に加えられてモータ電力入力のための電流となる。制御機構は燃料電池の燃料入力及びコンプレッサの酸化剤入力のうちの少なくとも一方を制御する。制御機構はまたコンプレッサの酸化剤出力を制御する。

別の例として、この装置は陸上輸送機関を駆動する。

#### 図面の簡単な説明

本発明は、下記の添付図面を参照しながら下記の好ましい実施例の説明を読むと完全に理解されるであろう。

図1は、本発明による電気モータのための燃料電池電源のブロック図である。

図2は、本発明の別の実施例による電気モータのための別の燃料電池電源のブロック図である。

図3は、本発明のシステム効率対システム負荷率を示すグラフである。

図4は、本発明の別の実施例による燃料電池、タービン-発電機及び電気モータのブロック図である。

図5は、本発明の出力発生装置を構成する図4の燃料電池及びタービン-発電機の概略図である。

図6は、本発明の種々の電圧-電流特性のグラフである。

図7A及び7Bは、本発明による燃料電池と発電機の概略図である。

図8は、本発明の別の実施例による出力発生装置を構成する燃料電池及びタービン-発電機の概略図である。

#### 好ましい実施例の説明

図1を参照して、この図は燃料電池電源2及び電気モータ4のブロック図である。燃料電池電源2は電気モータ4へ直接、直流電力を供給する。燃料電池電源2は制御機構6及び固体酸化物燃料電池(SOFC)8を含むが、本発明は任意の種類の燃料電池に利用できることを理解されたい。SOFC8は、燃料10と酸化剤12を連続的に電気化学反応させることにより直流電気(即ち、直流電圧V<sub>T</sub>及び直流電流I<sub>A</sub>)を発生させる。

この例の直流単極モータ4は、SOFC8の直流出力V<sub>T</sub>、I<sub>A</sub>にマッチする直流低電圧特性を有する。単極モータ4は本質的に単純で、低電圧高電流の機械である。単極装置の例は、本明細書の一部を形成するものとして引用するE.H. Myers, The Unipolar Generator, dated March 1956, Westinghouse Engineer, Volume Sixteen Number Twoに記載されている。単極モータ4は、アーマチュアまたは回転ディスク14、界磁コイル16、ステータ17、回転軸18及び2つのブラシ19を有する。単極モータ4は、アーマチュア14を流れる直流電流(j=J<sub>A</sub>)と界磁コイル16の励磁磁界(B)との相互作用によりトルク(T)を発生させる。

SOFC8は単極モータ4に直接接続され、需要に応じて制御される可変電源として働く。燃料電池電源2は燃料10と酸化剤12を直接、直流電気(V<sub>T</sub>、I<sub>A</sub>)にエネルギー変換し、直流電気を単極モータ4のアーマチュア14に直接結合し、単極モータ4の軸18から機械的負荷20を直接駆動する。SOFC8

は燃料入力 2 2, 酸化剤入力 2 4 及び排気出力 2 6 を有する。

燃料電池電源 2 はまた、燃料入力 2 2 を制御する燃料コントローラ 2 8 と、S O F C 8 の酸化剤入力を制御する酸化剤コントローラ 3 0 とを含む。従って、単

極モータ 4 の制御は S O F C 8 の燃料入力 2 2 及び酸化剤入力 2 4 を制御することにより実現される。或いは、図 2 につき以下に詳述するように、単極モータ 4 を、界磁コイル 1 6 の励磁磁界 (B) を制御することにより制御する。当業者は、さらに機械的負荷 2 0 の伝達比 (図示せず) を制御することによってこの制御を行えることが分かるであろう。

S O F C 8 は、電気化学的反応では普通である比較的高いエネルギー変換効率を達成する。かかる効率は従来の熱機関 (例えば、内燃機関) のカルノー効率を越えている。この例の S O F C 8 はありふれた酸化剤 1 2 (例えば、空気または酸素) を用いる。この例の燃料 1 0 は、水素 ( $H_2$ ) と一酸化炭素 (CO) の任意混合物である硫黄を含まない燃料ガスである。或いは、水素または一酸化炭素を拡張的に利用できる。この燃料ガスは、既存のそして開発中の改質技術を用いてありふれた市販の炭化水素 (即ち、水素と炭素を含む化合物) 燃料 (例えば、天然ガス及び/またはディーゼル燃料、メタノールまたはエタノールのような気化液体燃料) から製造可能である。S O F C 8 の排気出力 2 6 は環境に優しい。

図 2 を参照して、この図は燃料電池電源 3 2 のブロック図を示す。以下に特記する点を除き、燃料電池電源 3 2 は図 1 の燃料電池電源 2 と同一である。この例の S O F C 8 は、高電流直流接触器 3 4 によりこの例の単極モータ 4 に直接接続されている。接触器 3 4 の非限定的な例として Siemens Electric Limited により製造される Type 703-5000 アンペア 1000 ボルトの直流接触器がある。当業者は、この例の接触器 3 4 は不要であり、それを省略するかあるいはヒューズまたは回路遮断器、真空、エアギャップまたは絶縁性ガス接触器或いはモータ始動器のような種々の電磁スイッチング装置で置き換えることができることが分かるであろう。

燃料電池電源 3 2 はまた、空気を供給する空気源 3 6 と、燃料コントローラ 2 8 へ燃料を供給する燃料源 3 8 とを含む。この例の S O F C は種々のありふれた

燃料 1 0 及びありふれた酸化剤 1 2 を使用できることを理解されたい。燃料電池電源 3 2 はさらに、燃料コントローラ 2 8 、酸化剤コントローラ 3 0 、界磁電源 4 2 、界磁逆転スイッチ 4 4 を制御するコントローラ 4 0 を含む。従って、単極モータ 4 の制御は一般的に、燃料入力 2 2 、酸化剤入力 2 4 、単極モータ 4 の励

磁磁界を制御することによって行う。励磁磁界は界磁制御電流により決まる。この界磁制御電流は界磁電源 4 2 と励磁逆転スイッチ 4 4 により制御される。当業者は、機械的負荷 2 0 の伝達比（図示せず）を制御することによってさらに制御を行うことができるところが分かる。

この例のコントローラ 4 0 は、単極モータ 4 を制御するため、それぞれ燃料流量 ( $F_p$ ) 、酸化剤流量 ( $F_o$ ) 、モータ端子電圧 ( $V_e$ ) 、アーマチュア電流 ( $I_A$ ) 、界磁制御電流 ( $I_p$ ) 、モータ速度 (S) を測定する 6 つのセンサー 5 0 、5 2 、5 4 、5 6 、5 8 、6 0 を用いる。

コントローラ 4 0 は、選択されたモータ速度に応じて制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を制御することにより、界磁電流センサー 5 8 によりモニターされる界磁制御電流 ( $I_p$ ) 、従って界磁磁界 (B) を調整し、制御ライン 6 4 により接触器 3 4 を閉じ、制御ライン 6 6 、6 8 により燃料流量 ( $F_p$ ) 及び酸化剤流量 ( $F_o$ ) を適当なレベルに制御することによって、単極モータ 4 を付勢する。速度センサーまたはタコメータ 6 0 によりモニターされるモータ速度 (S) は、例えば SOFC 8 への燃料流量 ( $F_p$ ) を増加することによって上昇できる。単極モータ 4 は、例えば、燃料流量 ( $F_p$ ) を最低レベルに減少させ、その後（例えば、図 4 の可変直列抵抗 1 2 0 を用いて）アーマチュア回路に抵抗を付加し、そして／または接触器 3 4 を聞くことによって、停止できる。

単極モータ 4 は、励磁磁界 (B) を逆転させることにより一般的に逆方向に作動できる。詳説すると、コントローラ 4 0 が制御ライン 7 0 により接触器 3 4 を開き、制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を調整することによって界磁電流センサー 5 8 によりモニターされる界磁制御電流を零に減少させ、制御ライン 7 2 により界磁逆転スイッチ 4 4 を制御することによって界磁磁界 (B) の極性を逆転させ、制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を調整することによって界磁電流セン

サー5 8によりモニターされる界磁制御電流 ( $I_p$ ) を増加させ、従って励磁磁界 (B) を再び作動させ、制御ライン 6 4により接触器 3 4を閉じ、制御ライン 6 6, 6 8により選択された逆転モータ速度に応じてそれぞれ燃料流量 ( $F_p$ ) 及び酸化剤流量 ( $F_o$ ) を適当なレベルに制御する。

図 1 及び 2 にそれぞれ例示した燃料電池電源 2 及び 3 2 は、直流電力の直接利

用を最大限にすることによって電気的及び機械的なエネルギーの変換を最小限に抑える。単極モータ 4 及び SOFC 8 は共に低電圧高電流の装置である。従って、電圧損失が比較的小さくても、電力損失はかなりのものとなる。単極モータ 4 を SOFC 8 に直接接続することによって、従来、中間に設けた電子の電力コントローラと、それらの間の電力損失及び部品コストが軽減される。さらに、使用部品が少なくなるため電力損失及び部品コストが軽減される。従って、システムが比較的単純なこと、システムの効率が高いことにより、固定及び運転コストの両面から見て最適の出力または推進システムが提供される。さらに、可動部分及び直流電力変換による機械的雑音が減少するため、例えば軍事的用途に用いる場合重要な識別困難性が得られる。例えば、電気車両用推進システムに利用される場合、燃料電池電源 2, 3 2 は従来の内燃機関車両に比して効率が 2 乃至 3 倍となり、その放出特性は実用システムのうちで最も低い。

図 3 は、種々のタイプのエネルギー変換システムのシステム効率対システム負荷率を示すグラフである。“熱機関”を示す線 L 1 はグラフの最も下にあり、従来の内燃機関（主としてガソリンエンジン）及びタービンを表わす。熱機関の線 L 1 の直ぐ上の領域は“改良型熱機関”的域 A 1 であり、主として熱機関によるエネルギー変換と種々のエネルギー回収技術との組合せを表わし、他の熱機関及び熱交換器を含む。従来的ターボチャージャ付きディーゼルエンジンは輸送用として最も常用されている“改良型熱機関”システムを表わす。

“電気化学装置”を示す線 L 2 は燃料電池（例えば、図 1, 2 の SOFC 8）を表わす。“電気化学”線 L 2 の直ぐ上の“ハイブリッド”領域 A 2 は、主として電気化学的なエネルギー変換と種々のエネルギー回収技術との組合せを表わし、熱機関及び熱交換器を含む。

熱機関線 L 1 と改良型熱機関領域 A 1 は、従来から輸送用として支配的なシステムを表す。熱機関線 L 1 は最も単純で常用されているシステムであり、選択に当たり最も主要な基準は固定部品コストである。改良型熱機関領域 A 1 は、燃料効率が重要なファクタとならない限り輸送用としては正当化するのは難しい。その理由は、エネルギー回収装置が主要エネルギー変換装置ほど効率的でないからである。

電気化学的システムは、熱機関及び改良型熱機関システムより高効率である。しかしながら、基本的な燃料電池システムは通常、出力密度が比較的低く、ありふれた市販の燃料を考慮した場合特に、輸送用として正当化するのは困難である。エネルギー危機が発生するか、燃料電池出力密度の面でブレーキスルーが生まれれば、この正当化の状況は変わらであろう。さらに、将来の汚染抑制条件によつてはかかる状況がかなり変化することもある。

ハイブリッド領域 A 2 の上部の境界線 L 4 は、効率が最も重要なファクタである定置発電所によく似た構成のシステムを表す。しかしながら、効率を幾分か犠牲にすればシステム出力密度の有意な増加が可能である。例えば、中間の線 L 3 は輸送用に適したハイブリッドシステムを表す。タービン発電機を燃料電池と一体化したこの“中間”システムの例を、図 4 及び 5 を参照して説明する。簡言すると、ハイブリッド方式での出力の発生は効率が熱機関システムよりも格段に高く、それは燃料電池単独と比較しても非常に大きい。さらに、燃料電池の放出レベルは汚染抑制技術を含む競合システムのレベルよりも充分に低いため、有意な燃料の節約と炭酸ガス放出の軽減効果が得られる。

図 4 は輸送機関 7 6 の駆動列 7 4 のブロック図であり、本発明は任意の輸送機関（例えば、海上輸送機関、陸上輸送機関等）に利用可能である。駆動列 7 4 のこの例は電気モーター 7 8、燃料電池 8 0 及びタービン発電機 8 2 を含む。この例の直流単極電気モーター 7 8 は、輸送機関の機械的駆動装置 8 6 にエネルギーを供給するモータ軸 8 4 と、直流電流を導くモータ電力入力 8 8 とを有する。この例の S O F C 燃料電池 8 0 は、燃料入力 9 0、酸化剤入力 9 2、熱排気出力 9 4 及び燃料電池電力出力 9 6 を有する。この例の燃料入力 9 0 及び酸化剤入力 9 2

はそれぞれ、図1及び2の燃料入力22及び酸化剤入力24と同じである。SOF C80は熱排気出力94から燃料電池熱出力を、また電力出力96から燃料電池直流電力を供給する。好ましくは、この例の駆動列74はコスト、サイズ及び重量の点から見て酸化剤入力92に加圧空気を用いる。

この例のSOF C80は、燃料と加圧空気を電気化学反応させることによって熱と直流電力を発生させる。本発明は任意のタイプの高温燃料電池に利用可能である。熱排気出力94からの高温排気ガスは高品質の熱（例えば、この例のSOF

F C80では900°C）を提供し、タービン発電機82によるエネルギーの回収に役立つ。

発電機電力を供給するこの例のタービン発電機82は、酸化剤を加圧するコンプレッサ98と、昇圧直流単極発電機100と、コンプレッサ98及び直流通電機100を駆動するタービン104とを含む。直流発電機100は燃料電池電力出力96を受ける発電機入力101と、発電機直流電力を発生させる発電機電力出力102とを有する。タービン104はSOF C80の熱排気出力94に相互接続された熱排気入力106を有する。コンプレッサ98は、酸化剤コントローラ30に相互接続された酸化剤入力108と、燃料電池酸化剤入力92に相互接続された酸化剤出力110とを有する。この例のコンプレッサ98はSOF C80へ加圧空気を供給する。これにより、熱排気出力94からのエネルギー回収効率が向上し、また燃料電池電力出力96の電圧が増加して、SOF C80の正味効率が増加する。

図5、6及び7A-7Bに関連して以下に詳説するように、直流発電機100は一般的に、燃料電池電力出力96と直列に接続されている。従って、発電機電力出力102は、発電機入力101が受ける燃料電池電力出力96を補充して単極モータ78の電力入力88のための直流電力を発生させる。燃料電池充電出力96は燃料電池出力電圧を有する。発電機電力出力102は発電機出力電圧を有する。実施例の直流発電機100は昇圧された電圧を提供し、これにより燃料電池電力出力96の電圧が昇圧され発電機電力出力102が得られる。発電機出力電圧は燃料電池電力出力96の出力電圧に加えられ、単極モータ78の電力入力

8 8 のための出力が得られる。

この例のターボチャージャ付き S O F C 駆動列 7 4 は、 S O F C 8 0 をこの例のタービン-発電機 8 2 の圧縮／膨脹エンジン部に結合して、合理的なコストで高い熱効率を得る。本質的に、この駆動列 7 4 は回転電機が一体化されているため柔軟性が増大している。S O F C 8 0 、タービン 1 0 4 、コンプレッサ 9 8 及び直流発電機 1 0 0 を一体化することにより、直流出力電流が制御可能な高効率の発電が可能となり、この例の単極モータ 7 8 のような広い範囲の負荷へ直結できる。この例のタービン 1 0 4 は、排気ガスを出力するタービン排気出力 1 1 2

を用いる。この排気ガスの温度は従来の内燃機関（図示せず）の温度に匹敵する。大型のシステム（例えば、大型の海上プラットフォーム）はこの排気ガスを利用して蒸気または温水を生成させる。他のシステム（例えば、可動プラットフォーム）は、この排気ガスを空気と混合して最終的に放出される排気温度を低下させる。

駆動列 7 4 はさらに、図 2 のコントローラ 4 0 と同様なコントローラ 4 0' を含む。この例のコントローラ 4 0' は制御ライン 6 により燃料コントローラ 2 8 を、また制御ライン 6 8 により酸化剤コントローラ 3 5 を制御する。コントローラ 4 0' はさらにコンプレッサ 9 8 の酸化剤出力 1 1 0 を制御する制御ライン 1 1 4 と、発電機界磁電流を調整して直列接続直流発電機 1 0 0 の昇圧電圧が燃料電池電力出力 9 6 へ寄与する度合を制御するための制御ライン 1 1 6 を含む。以下において詳述するように、この制御のかなりの部分はこの昇圧電圧が寄与する度合を制御することにより実現される。さらに、図 2 と同様、コントローラ 4 0' は界磁励磁コントローラ 1 1 8 に接続された制御ライン 6 2 、 7 2 により単極モータ 7 8 の界磁電力及び励磁磁界の極性をそれぞれ制御する。このようにして、単極モータ 7 8 の励磁磁界 (B) と励磁制御電流 ( $I_p$ ) が制御される。

この例のコントローラ 4 0' は、発電機電力出力 1 0 2 と単極モータ 7 8 の異なる電圧特性を調和させるための 2 つの制御モードを使用する。他の特定の制御モードも可能であることが分かる。燃料電池電力出力 9 6 の電圧は負荷の増加に応じて減少する（例えば、図 6 の曲線 A' を参照）。これとは対照的に、単極モ

ータ 7 8 が要求する電圧は速度に関して線形であり、このため負荷と共に増加する。第 1 の”電圧”制御モードは、0 乃至 10 % の負荷または 0 乃至 46 % の定格速度で使用する。第 2 の”弱め界磁”制御モードは、10 % 以下の負荷または 46 % 以下の定格速度で用いる。

可変直列抵抗 1 2 0 が発電機電力出力 1 0 2 とモータ電力入力 8 8 の間に接続されている。コントローラ 4 0' は制御ライン 1 2 2 によりこの可変抵抗 1 2 0 の抵抗を制御する。電圧制御モードでは、モータ端子電圧 ( $V_p$ ) を速度に関して線形的に制御する。抵抗 1 2 0 の抵抗値は、抵抗 1 2 0 と単極モータ 7 8 の直列接続体が発電機電力出力 1 0 2 の電圧変化（例えば、図 6 の曲線 C を参照）に

従うように変化させる。この電圧は電圧制御モードでは主として S O F C 8 0 により制御する。0 % の負荷点では、可変抵抗 1 2 0 の抵抗値は最大である。10 % 及びそれ以上の負荷点では、可変抵抗 1 2 0 は完全に短絡状態（即ち、0 オーム）にあり、単極モータ 7 8 は発電機電力出力 1 0 2 の電圧で作動する。負荷が 0 乃至 10 % の範囲では、モータ端子電圧 ( $V_p$ ) は速度に応じて線形的に変化する。当業者は、可変抵抗 1 2 0 をさらに輸送機関 7 6 を始動または制動するため使用できることが分かるであろう。

弱め界磁制御モードにおいて、単極モータ 7 8 の励磁磁界 (B) は界磁制御電流 ( $I_p$ ) により決まる。この励磁磁界 (B) は最大の”低負荷”値（0 乃至 10 % 負荷または 0 乃至 46 % 定格速度）から減少されることにより、発電機電力出力 1 0 2 の正勾配の電圧で作動しながらモータ速度 (S) を制御する。好ましくは、単極モータ 7 8 は最大の低負荷値で運転するためバーユニットほぼ 2.0 の励磁制御電流 ( $I_p$ ) を与える。

コントローラ 4 0' は 3 つの比例-積分-微分 (P I D) 制御ループを組み込んでいる。S O F C 8 0 の時間的制約ファクタは直流単極発電機及び単極モータ 7 8 と比べて格段に長いため、主要 P I D 制御ループが S O F C 8 0 を制御する。この主要 P I D 制御ループは速度設定点を S O F C 8 0 の出力条件に変換する。この主要 P I D 制御ループはまた、速度設定点とタコメータ 6 0 により感知されるモータ速度 (S) の差である速度エラー信号を求める。そして、コントロー

ラ40'は制御ライン66, 68により速度エラー信号及びSOF C 80の所定の電流能力に応じてそれぞれ燃料流量及び酸化剤流量を設定する。

第2のPID制御ループは、電圧制御モードを用い(モータ端子電圧( $V_T$ )を制御することにより)、また弱め界磁制御モードを用い(界磁磁界(B)を制御することにより)モータ速度(S)を制御する。第3のPID制御ループは、SOF C 80と直列接続の直流発電機100を制御して、0乃至100%の負荷範囲全体に亘りほぼ一定のモータ端子電圧( $V_T$ )が得られるようにする(例えば、図6の僅かに正勾配の曲線Cを参照)。

一體化されたSOF C 80と昇圧直済発電機100は、図5の概略図に示すように、出力発生モジュール124内におけるエネルギーの回収と制御を可能にす

る。このため、別の電力調整装置を外部に設ける必要性が有意に減少する。図6は、対応電圧-電流( $V-I$ )曲線を示す。この例のSOF C 80及びタービン-発電機82は補い合って単極モータのための所望の電力出力が得られるようになる。電力出力のピークでは、SOF C 80の電圧及び効率は最低である。この動作点において、ピークエネルギーはSOF C 80の熱排気出力94で得られるため、タービン-発電機82による電圧昇圧の可能性は最大である。電力出力が低下するにつれて、タービン104の効率が低下し、電力出力102における出力発生モジュール124からの出力電圧はSOF C 80のそれに近付く。

図5に示すように、この例の出力発生モジュール124の始動及び制御のさらなる柔軟性は燃料入力126を有するコンバスター125により実現される。コンバスター125は、SOF C 80の熱排気出力94とタービン104の熱排気入力106の間に相互接続されている。この例のコンバスター125はSOF C 80の運転温度を最低値(例えば、600°C)にするために用いられる。SOF C 80は、この温度より上でタービン104へ熱を供給する。コンバスター125はまた、一部が反応済みの燃料と酸化剤の流れの反応を完了させる。この例のコンバスター125はさらに、タービン104の熱排気入力106の入口温度を最大連続出力運転ができるように上昇させる。

当業者は、さらに別のパラメータを変えたり、構成を変更したりして、制御方

法を改善できることが分かるであろう。例えば、可変パラメータとして S O F C 8 0 の電池圧力及び電池温度が含まれる。構成変更の例としては、多数の出力発生モジュール 1 2 4 を直列または並列に並べたり、S O F C 8 0 のサブモジュール 8 0 A, 8 0 B (図 7 A - 7 B 参照) を直列または並列に並べたり、制御可能なピッチのプロペラ (海上輸送機用として)、電子的電力コンディショナ、機械的伝達装置、クラッチ及び可変直列抵抗 1 2 0 の使用が含まれる。可変パラメータ構成の変更及び特定の制御方法の特定の組合せは、特定の用途による。

図 6 は  $V-I$  特性 A, A', B, C, D, E, F を示す。曲線 A は独立型 S O F C 発電装置 (例えば、図 1, 2 の S O F C 8 ) だけを表わす。曲線 A' は加圧された独立型 S O F C 発電装置 (例えば、図 4, 5 の S O F C 8 0 ) の燃料電池  $V-I$  特性を表わす。燃料電池  $V-I$  特性は一般的に、燃料電池電流の増加につ

れて燃料電池電圧が減少する。曲線 E, F は発電機 (例えば、図 4, 5 の発電機 1 0 0 ) の 2 つの例示的な  $V-I$  特性を表わす。曲線 E, F は、一般的に発電機電流の増加につれて発電機電圧が増加する。図 4 のコントローラ 4 0' は、直列接続の直流発電機 1 0 0 の界圧電圧が寄与する度合を制御する制御ライン 1 1 6 により発電機の  $V-I$  特性を制御する。この例の発電機 1 0 0 は、燃料電池電圧に正の電圧を加えるための発電機として作動させるか、或いは燃料電池電圧に負の電圧を加える (即ち、燃料電池電圧から正の電圧を差引く) モータとして作動させるかが可能なことを理解されたい。

図 5 の出力発生モジュール 1 2 4 は、0 勾配 (曲線 B) 及び正勾配 (曲線 C) を含む種々の  $V-I$  特性になるように構成できる。0 勾配の  $V-I$  曲線 B は例えば、調整された一定電圧が必要な船舶用に対応する。勾配が正の  $V-I$  曲線 C は例えば、正勾配を必要とする推進用途に対応する。この例の曲線 B, C は例えば、それぞれ曲線 A' と E, また A' と F を加算することによって得られる。これらの曲線の他の多くの種々の組合せ、またはその中間特性若しくは他の曲線 (図示せず) が可能であることが分かるであろう。

引き続き図 5 を参照して、S O F C 8 0 から発電機 1 0 0 のアーマチュア (図示せず) を通って電流が流れれる。発電機 1 0 0 の界磁磁界は回転するアーマチュ

アの電流と相互作用してS O F C 8 0の電圧に付加される昇圧電圧を発生させる。タービン1 0 4は発電機1 0 0を駆動するトルクを発生させる。その結果得られるモータ電力入力8 8の出力電圧はタービン-発電機8 2の負荷範囲に亘り制御可能である。例えば、タービン-発電機8 2がS O F C 8 0の電力の4 0 %に当たる電力を供給するのであれば、タービン-発電機8 2はS O F C 8 0の電圧をモータ電力入力8 8の特定の電流レベルで4 0 %だけ昇圧する。例えば、S O F C 8 0への燃料入力9 0及び酸化剤入力9 2を変えることによって、電力をさらに制御できる。

直流単極推進モータ7 8は、出力発生モジュール1 2 4への直結に適した直流低電圧装置である。直結推進システムの制御は、図4及び5に関連して上述したように、出力発生モジュール1 2 4を単極モータ7 8の励磁磁界(B)の制御と組合せて制御することにより実現できる。当業者は、輸送機関の機械的駆動装置

8 6の負荷が大きく変化した場合、ディーゼル発電機セットを付加するか或いは切り離すとの同じような態様で別の出力発生モジュール(図示せず)を付加するか或いは切り離すことによって対応できることが分かる。出力発生モジュール1 2 4と単極モータ7 8とのこの直結により、従来の電力変換装置に対する必要性が最小限に抑えられる。このため、システムのコスト、重量及び電力損失が減少する。

この例の単極モータ7 8は一般的に、あらゆる種類のモータのうち最も軽量で、雑音が最低であるという特徴を有する。商船(旅客船)及び軍用船に対する利点としては、雑音が少ないだけでなく雑音低減装置、そのコスト及び重量を回避できるという点がある。さらに、出力発生モジュール1 2 4を直結制御はこの例のS O F C 8 0だけでなく他の種類のエネルギー直接変換装置に利用できる。

図7 A及び7 Bを参照して、再構成可能なハイブリッド出力発生モジュールの2つの例1 3 0、1 3 0'を示す。これらのモジュール1 3 0、1 3 0'は一般的に図5の出力発生モジュール1 2 4と同じである。この再構成は、S O F C 8 0のサブモジュール8 0 A、8 0 Bを電気的に再接続し、また昇圧直流単極発電機1 0 0の個々のアーマチュアの巻線1 2 7 A、1 2 7 Bを電気的に再接続する

ことにより実現される。発電機 100 はハウジング 128 と複数の外部端子 G1-G4 を含む。端子 G1-G2, G3-G4 はそれぞれ、アーマチュアの巻線 127B, 127A に接続されている。SOFC80 はハウジング 129 及び複数の外部端子 S1, S4 を含む。端子 S1-S2, S3-S4 はそれぞれ、サブモジュール 80B, 80A に接続されている。SOFC80 及び発電機 100 は 2 つのリード線 132, 133 によりこの例の単極モータ 131 のような負荷へ負荷電流  $I_A$  と負荷電圧  $V_T$  を供給する。

図 7A のこの例的構成により、船の配電用として典型的な比較的高電圧で低電流の特性（図 6 の曲線 D により示す）が得られる。3 つのジャンパー J1, J2, J3 が端子 S3-S2, S1-G2, G3-G2 をそれぞれ接続する。モータ 131 の電流はサブモジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B を流れる。端子 S4-J1 の両端間のモータ 131 の電圧  $V_T$  は、サブモジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B にかかる電圧

に加算される。従って、この構成はサブモジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B の直列接続体を提供する。

例えば、図 7B の構成は、図 4 及び 5 に申し上述した直列単極推進システムの用途に典型的な比較的低電圧で高電流の特性（図 6 の曲線 C に示す）を提供する。4 つのジャンパー J4, J5, J6, J7 が端子 S4-S2, S1-G2, S3-G4, G3-G1 をそれぞれ相互接続する。この構成は、モータ 131、直列接続のサブモジュール 80A とアーマチュア巻線 127A、及び直列接続のサブモジュール 80B とアーマチュア巻線 127B の並列接続体を提供する。従って、各対 80A-127A 及び 80B-127B はモータ 131 へ直接、電力を供給する。

この例のジャンパー J1-J7 は、比較的高電圧で低電流の構成（例えば、図 7A の直列 7.50 ボルトの船舶用電圧）と比較的低電圧で高電流の構成（例えば、図 7B の直列 1.87, 5 ボルトの直列推進モータ用電圧）の間で出力発生モジュール 130, 130' を再構成するべく変更可能である。さらに、図 7Bにおいて、この例の単極発電機 100 は内部抵抗が非常に小さいため、サブモジュー

ル80A, 80Bの内部抵抗が、並列接続対80A-127A, 80B-127B及び他の並列接続の（図示せず）出力発生モジュール130または130'を流れるであろう循環電流を最小限にする。

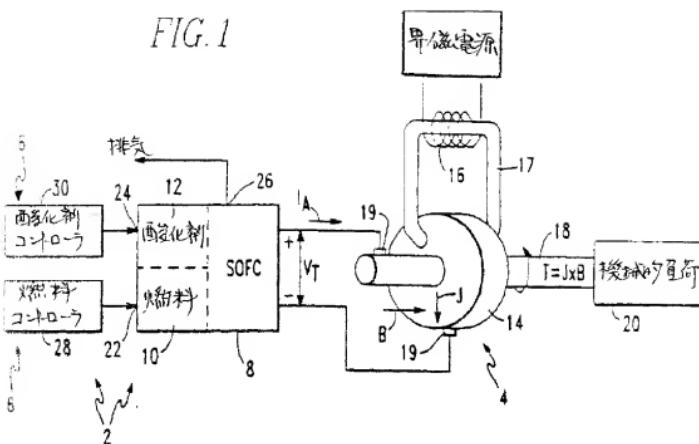
図8は、図4の駆動列74及び図5の出力発生モジュール124の別の実施例を示す。この実施例では、SOFC80の燃料電池電力出力96と単極発電機100の発電機電力出力102は並列に接続されている。そして、この並列接続により単極モータ78のモータ電力入力88へ電流が供給される。発電機出力102からの発電機電流は燃料電池出力96からの燃料電池電流を補充する。従ってこの並列接続により燃料電池電流へ発電機電流が付加され、モータ入力88の直流モータ電流となる。

本発明の特定の実施例を詳細に説明したが、当業者には本明細書及び図面の教示全体から種々の変形例及び設計変更が可能であることが分かるであろう。従って、図示の特定の構成は例示の目的をもつものに過ぎず、本発明の範囲を限定するものではなく、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲及び特許請求の範囲の全幅

及びその任意そして全ての均等範囲を与えられるべきである。

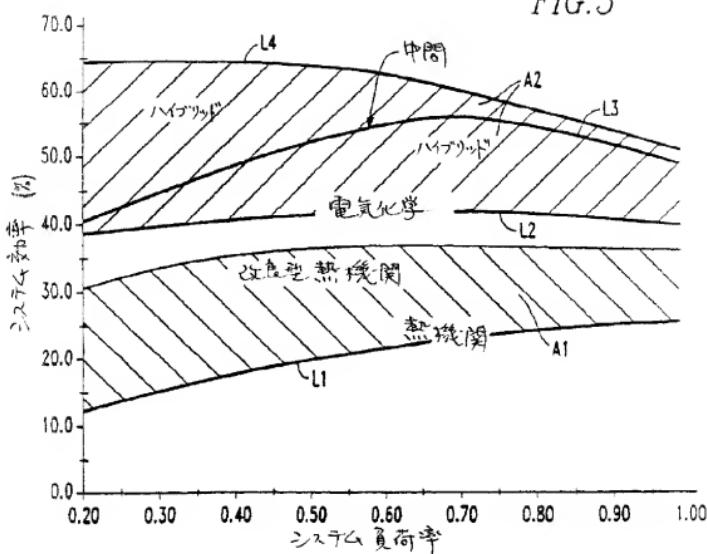
【図1】

FIG. 1

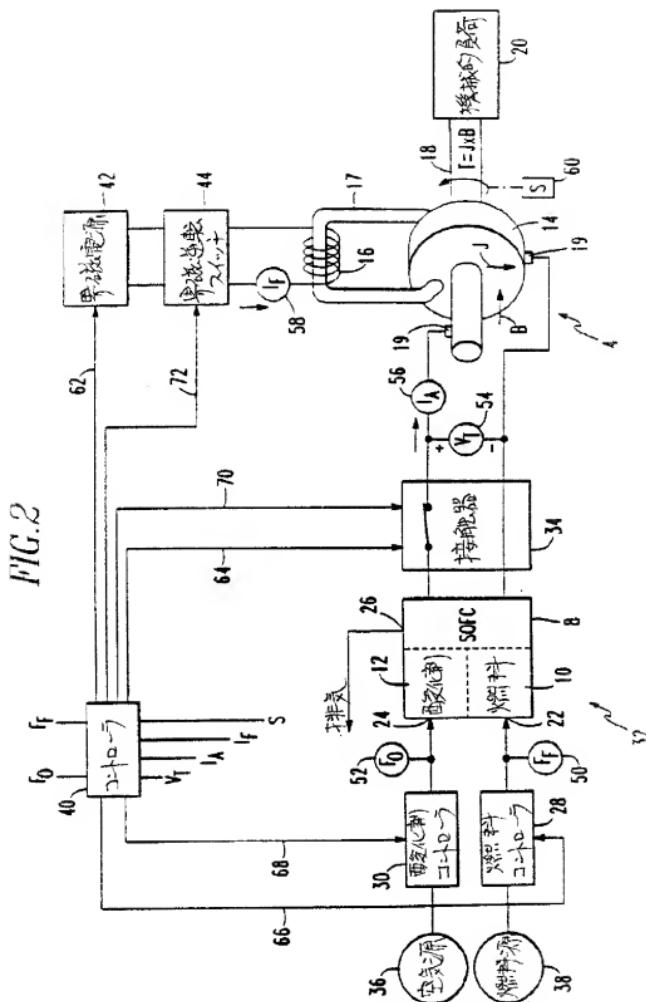


【図3】

FIG.3

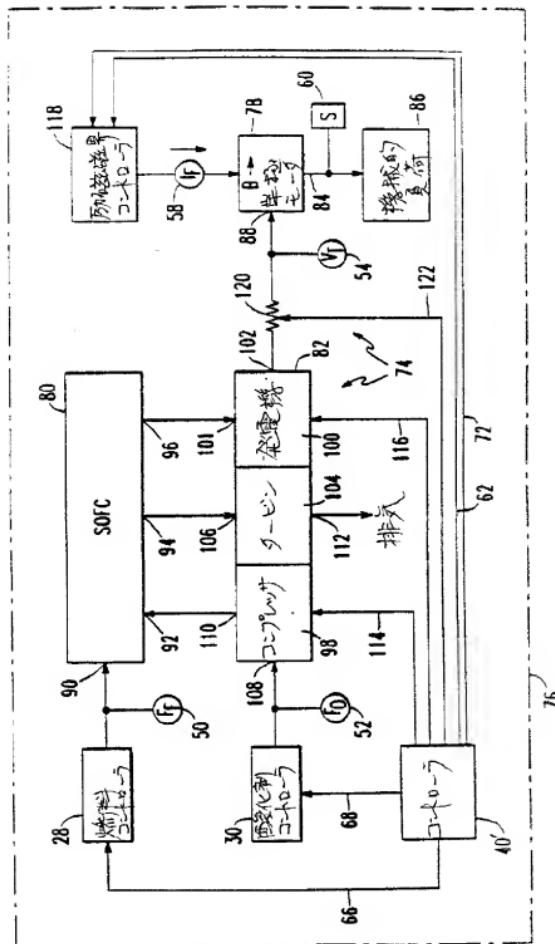


【図2】



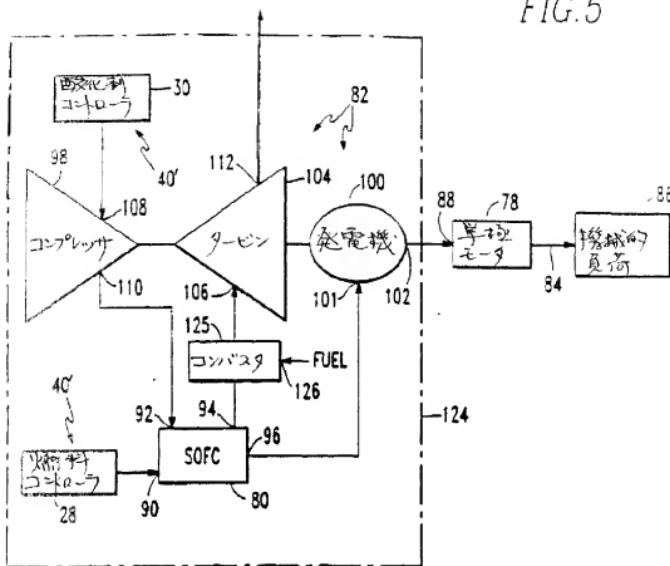
【図4】

FIG.4



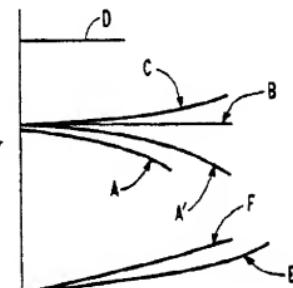
【図5】

FIG.5

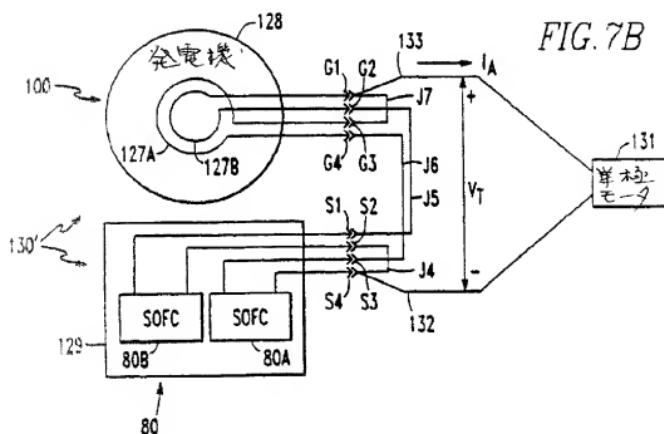
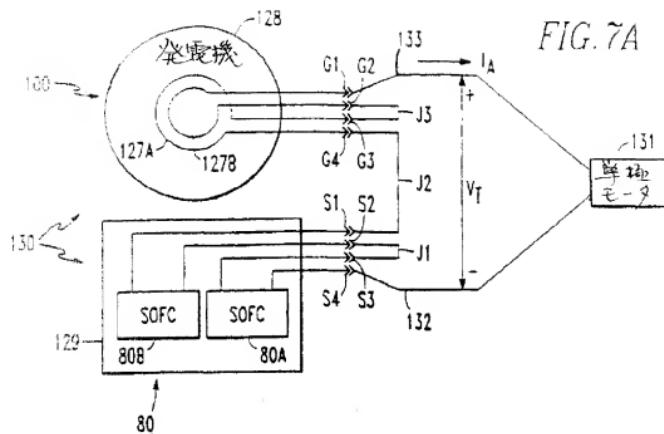


【図6】

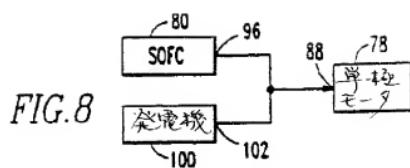
FIG.6



【図7】



【図8】



【手続補正書】特許法第184条の8第1項

【提出日】1996年9月16日

【補正内容】

このような種々のエンジンの長所を取り入れながら短所を回避するため単純なエンジンタイプを技術的に組み合わせることが行われている。この観点で見ると、ターボチャージャ付きディーゼルエンジンは、重量の問題をある程度克服しながら自然吸引式ディーゼルエンジンの効率を維持することに成功している。他にも複合エンジンの製造例があるが、それには電気と燃焼を組合せたハイブリッド型がある。

ドイツ特許明細書DE 43 22 765 C1は、電気モータにより駆動される車両の出力制御装置を開示している。燃料電池が、車両の駆動ユニットの電気モータを給電する第1の電流調整器を給電する。別の電気モータが第2の電流調整器により給電され、この調整器が燃料電池により給電される。もう1つの電気モータと始動用モータがコンプレッサを駆動し、このコンプレッサの速度が燃料電池への酸化剤の流量に影響を与える。空気流量センサーがコンプレッサの入力に接続されている。

特許平第4-3429961号は燃料電池を含む発電施設を開示している。モータ／発電機は排気ガスタービンの排気ガスが充分に多いとき発電を行う。一方、逆転停止時、始動時または負荷が0または低負荷の時、モータ／発電機はモータとして作用し、排気ガスタービンが空気コンプレッサを駆動するのを支援する。空気コンプレッサはその空気入力からの空気を燃料電池発電装置へ供給する。

特開平第6-223851号は、燃料電池及びガスタービンを含む発電システムを開示している。ガスタービンは、改質器からの改質済み燃料ガス（1）と、燃料電池からの排気空気と補助バーナーに加えた燃料との燃焼により得られる燃焼ガス（2）とを用いて出力を与える。

高エネルギー密度装置（例えば、液体燃料または燃料電池）を高出力（単位重量及び体積当たりの出力）密度（例えば、電池及び／またはフライウイール）装置と共に利用するハイブリッド輸送機関は公知である。高エネルギー密度装置は平均またはベースライン動力を提供する。これとは対照的に、高出力密度装置は

加速及び／または登坂のためのピーク動力を提供する。効率の利得は燃料消費量と総排気放出量の両方を改善減少させる動作点から生まれる。例えば、海上輸送機関の場合、迅速な加速に対する厳しい条件は存在しないため出力密度の条件は

それほど重要でない。一方、迅速な加速及び登坂が必要とされる陸上輸送機関では、比較的高い出力密度が必要である。

一般的に、エネルギー貯蔵に関する機能的条件を充分に満たすことは実用的な電気自動車を提供する上で主要な技術的ニックであることが認識されている。駆動用としての特定のニーズを満足させるため、効率がよく、経済的で、軽量の電気モータとそれとコンパチブルな駆動システムとが進化している。従来、直流モータがこの問題に対する主要な解答であったが、現在の選択肢は交流モータのようである。その理由は、交流モータの制御装置は非常に複雑であるが（直流モータに必要なものは単純なチョッパーに過ぎない）、交流モータの方が（従来型）直流モータに比べて簡単で（低コスト）、格段に高い回転速度を得られるためである。

一部の専門家は、制御装置と機械の両方を考えると、交流の駆動装置と従来の直流駆動装置には基本的な違いはほとんど存在しないと信じている。（伝統的な）直流装置はほとんど理想的なけん引モータであるが、高価である。また、伝統的な直流装置の速度には限界があるため、等価的出力条件を実現するためには交流装置よりも大型にする必要がある。複雑で、凝った出力制御用電子装置を用いて低成本の交流装置を直流けん引装置のように作動することが可能である。

従って、改良型電気駆動輸送機関が必要とされている。

さらに詳細には、ありふれた燃料を用いるかかる輸送機関が必要とされている。  
。

運転範囲が向上したかかる輸送機関が特に必要とされている。

加速能力が向上したかかる輸送機関が特に必要とされている。

正味の総汚染物質量を有意に減少させるかかる輸送機関が特に必要とされている。

固定及び運転コストを減少させるかかる輸送機関が特に必要とされている。

### 発明の概要

上記及び他の必要性は、輸送機関を駆動する装置に係わる本発明により充足される。この装置は、輸送機関を駆動する電気モータと、燃料電池電力を与える燃料電池と、タービン-発電機電力を供給するタービン-発電機と、制御機構とを含む。電気モータはモータ電力入力を有する。燃料電池は、燃料入力、酸化剤入

力、熱排気出力、及び燃料電池電力出力を有する。燃料電池の燃料入力は炭化水素を利用できる。燃料入力は、水素、一酸化炭素、水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択された燃料を用いること也可以ある。タービン発電機は、発電機電力出力を発生する発電機、及び発電機を駆動するためのタービンを含む。タービンの熱排気入力は、燃料電池の熱排気出力に相互接続されている。タービンは燃料電池の熱排気出力に相互接続されたコンバスタを含む。発電機電力出力は燃料電池電力出力を補充して、電気モータのモータ電力入力のための電力を発生させる。燃料電池電力出力は燃料電池電流を有し、また発電機電力出力は発電機電流を有し、これらの電流は加算されてモータ出力入力のための電流となる。制御機構は、燃料電池の燃料入力と酸化剤入力のうちの少なくとも一方を制御できる。

別の例として、この装置は海上輸送機関を駆動できる。タービン-発電機は、酸化剤を加圧するコンプレッサと、発電機電流を有する発電機電力出力を発生させる発電機と、コンプレッサ及び発電機を駆動するタービンとを含む。タービンの熱排気入力は燃料電池の熱発電機出力に相互接続されている。コンプレッサは酸化剤入力と酸化剤出力を有し、その酸化剤出力は燃料電池の酸化剤入力に相互接続されている。

燃料電池電流は発電機電流に加えられてモータ電力入力のための電流となる。制御機構はさらに、コンプレッサ酸化剤入力を制御する。制御機構はまたコンプレッサの酸化剤出力をも制御する。

別の例として、この装置は陸上輸送機関を駆動する。

### 図面の簡単な説明

本発明は、下記の添付図面を参照しながら下記の好ましい実施例の説明を読む

と完全に理解されるであろう。

図1は、本発明による電気モータのための燃料電池電源のブロック図である。

図2は、本発明の別の実施例による電気モータのための別の燃料電池電源のブロック図である。

図3は、本発明のシステム効率対システム負荷率を示すグラフである。

図4は、本発明の別の実施例による燃料電池、タービン-発電機及び電気モー

タのブロック図である。

図5は、本発明の出力発生装置を構成する図4の燃料電池及びタービン-発電機の概略図である。

図6は、本発明の種々の電圧-電流特性のグラフである。

図7A及び7Bは、本発明による燃料電池と発電機の概略図である。

図8は、本発明の別の実施例による出力発生装置を構成する燃料電池及びタービン-発電機の概略図である。

#### 好ましい実施例の説明

図1を参照して、この図は燃料電池電源2及び電気モータ4のブロック図である。燃料電池電源2は電気モータ4へ直接、直流電力を供給する。燃料電池電源2は制御機構6及び固体酸化物燃料電池(SOFC)8を含むが、本発明は任意の種類の燃料電池に利用できることを理解されたい。SOFC8は、燃料10と酸化剤12を連続的に電気化学反応させることにより直流電気(即ち、直流電圧 $V_T$ 及び直流電流 $I_A$ )を発生させる。

この例の直流単極電気モータ4は、SOFC8の直流出力 $V_T$ 、 $I_A$ にマッチする直流低電圧特性を有する。単極モータ4は本質的に単純で、低電圧高電流の機械である。単極装置の例は、本明細書の一部を形成するものとして引用するE.H. Myers, *The Unipolar Generator*, dated March 1956, Westinghouse Engineer, Volume Sixteen Number Twoに記載されている。単極モータ4は、アーマチュアまたは回転ディスク14、界磁コイル16、ステータ17、回転軸18及び2つのブラシ19を有する。単極モータ4は、アーマチュア14を流れる直流電流( $J = J_A$ )と界磁コイル16の励磁磁界(B)との相互作用によりトルク(T

) を発生させる。

S O F C 8 は単極モータ 4 に直接接続され、需要に応じて制御される可変電源として働く。燃料電池電源 2 は燃料 1 0 と酸化剤 1 2 を直接、直流電気 ( $V_T$ ,  $I_A$ ) にエネルギー変換し、直流電気を単極モータ 4 のアーマチュア 1 4 に直接結合し、単極モータ 4 の軸 1 8 から機械的負荷 2 0 を直接駆動する。S O F C 8 は燃料入力 2 2 、酸化剤入力 2 4 及び排気出力 2 6 を有する。

燃料電池電源 2 はまた、燃料入力 2 2 を制御する燃料コントローラ 2 8 と、S

O F C 8 の酸化剤入力を制御する酸化剤コントローラ 3 0 とを含む。従って、単極モータ 4 の制御は S O F C 8 の燃料入力 2 2 及び酸化剤入力 2 4 を制御することにより実現される。或いは、図 2 につき以下に詳述するように、単極モータ 4 を、界磁コイル 1 6 の励磁磁界 (B) を制御することにより制御する。当業者は、さらに機械的負荷 2 0 の伝達比 (図示せず) を制御することによってこの制御を行えることが分かるであろう。

S O F C 8 は、電気化学的反応では普通である比較的高いエネルギー変換効率を達成する。かかる効率は従来の熱機関 (例えば、内燃機関) のカルノー効率を越えている。この例の S O F C 8 はありふれた酸化剤 1 2 (例えば、空気または酸素) を用いる。この例の燃料 1 0 は、水素 ( $H_2$ ) と一酸化炭素 ( $CO$ ) の任意混合物である硫黄を含まない燃料ガスである。或いは、水素または一酸化炭素を排他的に利用できる。この燃料ガスは、既存のそして開発中の改質技術を用いてありふれた市販の炭化水素 (即ち、水素と炭素を含む化合物) 燃料 (例えば、天然ガス及び/またはディーゼル燃料、メタノールまたはエタノールのような液体燃料) から製造可能である。S O F C 8 の排気出力 2 6 は環境に優しい。

図 2 を参照して、この図は燃料電池電源 3 2 のブロック図を示す。以下に特記する点を除き、燃料電池電源 3 2 は図 1 の燃料電池電源 2 と同一である。この例の S O F C 8 は、高電流直流接触器 3 4 によりこの例の単極モータ 4 に直接接続されている。接触器 3 4 の非限定的な例として Siemens Electric Limited により製造される Type 703 5000 アンペア 1000 ボルトの直流接触器がある。当業者は、この例の接触器 3 4 は不要であり、それを省略するか或いはヒ

ューズまたは回路遮断器、真空、エアギャップまたは絶縁性ガス接触器あるいはモータ始動器のような種々の電磁スイッチング装置で置き換えることができることが分かるであろう。

燃料電池電源 3 2 はまた、空気を供給する空気源 3 6 と、燃料コントローラ 2 8 へ燃料を供給する燃料源 3 8 とを含む。この例の S O F C は種々のありふれた燃料 1 0 及びありふれた酸化剤 1 2 を使用できることを理解されたい。燃料電池電源 3 2 はさらに、燃料コントローラ 2 8 、酸化剤コントローラ 3 0 、界磁電源 4 2 、界磁逆転スイッチ 4 4 を制御するコントローラ 4 0 を含む。従って、単極

モータ 4 の制御は一般的に、燃料入力 2 2 、酸化剤入力 2 4 、単極モータ 4 の励磁磁界を制御することによって行う。励磁磁界は界磁制御電流により決まる。この界磁制御電流は励磁電源 4 2 と励磁逆転スイッチ 4 4 により制御される。当業者は、機械的負荷 2 0 の伝達比（図示せず）を制御することによってさらに制御を行うことができるところが分かる。

この例のコントローラ 4 0 は、単極モータ 4 を制御するため、それぞれ燃料流量 ( $F_A$ ) 、酸化剤流量 ( $F_O$ ) 、モータ端子電圧 ( $V_p$ ) 、アーマチュア電流 ( $I_A$ ) 、界磁制御電流 ( $I_p$ ) 、モータ速度 (S) を測定する 6 つのセンサー 5 0, 5 2, 5 4, 5 6, 5 8, 6 0 を用いる。

コントローラ 4 0 は、選択されたモータ速度に応じて制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を制御することにより、界磁電流センサー 5 8 によりモニターされる界磁制御電流 ( $I_p$ ) 、従って界磁磁界 (B) を調整し、制御ライン 6 4 により接触器 3 4 を閉じ、制御ライン 6 6, 6 8 により燃料流量 ( $F_p$ ) 及び酸化剤流量 ( $F_O$ ) を適当なレベルに制御することによって、単極モータ 4 を付勢する。速度センサーまたはタコメータ 6 0 によりモニターされるモータ速度 (S) は、例えば S O F C 8 への燃料流量 ( $F_p$ ) を増加することによって上昇できる。単極モータ 4 は、例えば、燃料流量 ( $F_p$ ) を最低レベルに減少させ、その後（例えば、図 4 の可変直列抵抗 1 2 0 を用いて）アーマチュア回路に抵抗を付加し、そして／または接触器 3 4 を聞くことによって、停止できる。

単極モータ 4 は、励磁磁界 (B) を逆転させることにより一般的に逆方向に作

動できる。詳説すると、コントローラ 4 0 が制御ライン 7 0 により接触器 3 4 を開き、制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を調整することによって界磁電流センサー 5 8 によりモニターされる界磁制御電流を零に減少させ、制御ライン 7 2 により界磁逆転スイッチ 4 4 を制御することによって界磁磁界 (B) の極性を逆転させ、制御ライン 6 2 により界磁電源 4 2 を調整することによって界磁電流センサー 5 8 によりモニターされる界磁制御電流 ( $I_p$ ) を増加させ、従って励磁磁界 (B) を再び作動させ、制御ライン 6 4 により接触器 3 4 を閉じ、制御ライン 6 6, 6 8 により選択された逆転モータ速度に応じてそれぞれ燃料流量 ( $F_p$ ) 及び酸化剤流量 ( $F_o$ ) を適当なレベルに制御する。

図 1 及び 2 にそれぞれ例示した燃料電池電源 2 及び 3 2 は、直流電力の直接利用を最大限にすることによって電気的及び機械的なエネルギーの変換を最小限に抑える。単極モータ 4 及び SOFC 8 は共に低電圧高電流の装置である。従って、電圧損失が比較的小さくても、電力損失はかなりのものとなる。単極モータ 4 を SOFC 8 に直接接続することによって、従来、中間に設けた電子的電力コントローラと、それらの関連の電力損失及び部品コストがなくなる。さらに、使用部品が少くなるため電力損失及び部品コストが軽減される。従って、システムが比較的単純なこと、システムの効率が高いことにより、固定及び運転コストの両面から見て最適の出力または推進システムが提供される。さらに、可動部分及び直流電力変換による機械的雑音が減少するため、例えば軍事的用途に用いる場合重要な識別困難性が得られる。例えば、電気車両用推進システムに利用される場合、燃料電池電源 2, 3 2 は従来の内燃機関車両に比して効率が 2 乃至 3 倍となり、その放出特性は実用システムのうちで最も低い。

図 3 は、種々のタイプのエネルギー変換システムのシステム効率対システム負荷率を示すグラフである。“熱機関”を示す線 L 1 はグラフの最も下にあり、従来の内燃機関（主としてガソリンエンジン）及びターピンを表わす。熱機関の線 L 1 の直ぐ上の領域は“改良型熱機関”的域 A 1 であり、主として熱機関によるエネルギー変換と種々のエネルギー回収技術との組合せを表わし、他の熱機関及び熱交換器を含む。従来のターボチャージャ付きディーゼルエンジンは輸送用

として最も常用されている”改良型熱機関”システムを表わす。

”電気化学装置”を示す線L2は燃料電池（例えば、図1、2のSOFC8）を表わす。”電気化学”線L2の直ぐ上の”ハイブリッド”領域A2は、主として電気化学的なエネルギー変換と種々のエネルギー回収技術との組合せを表わし、熱機関及び熱交換器を含む。

熱機関線L1と改良型熱機関領域A1は、従来から輸送用として支配的なシステムを表わす。熱機関線L1は最も単純で常用されているシステムであり、選択に当たり最も主要な基準は固定部品コストである。改良型熱機関領域A1は、燃料効率が重要なファクタとならない限り輸送用としては正当化するのは難しい。その理由は、エネルギー回収装置が主要エネルギー変換装置ほど効率的でないか

らである。

電気化学的システムは、熱機関及び改良型熱機関システムより高効率である。しかしながら、基本的な燃料電池システムは通常、出力密度が比較的低く、ありふれた市販の燃料を考慮した場合特に、輸送用として正当化するのは困難である。エネルギー危機が発生するか、燃料電池出力密度の面でブレーキスルーが生まれれば、この正当化の状況は変わらであろう。さらに、将来の汚染抑制条件によってはかかる状況がかなり変化することもある。

ハイブリッド領域A2の上部の境界線L4は、効率が最も重要なファクタである定置発電所によく似た構成のシステムを表わす。しかしながら、効率を幾分か犠牲にすればシステム出力密度の有意な増加が可能である。例えば、中間の線L3は輸送用に適したハイブリッドシステムを表わす。ターピン-発電機を燃料電池と一体化したこの”中間”システムの例を、図4及び5を参照して説明する。簡言すると、ハイブリッド方式での出力の発生は効率が熱機関システムよりも格段に高く、それは燃料電池単独と比較しても非常に大きい。さらに、燃料電池の放出レベルは汚染抑制技術を含む競合システムのレベルよりも充分に低いため、有意な燃料の節約と炭酸ガス放出の軽減効果が得られる。

図4は輸送機関7-6の駆動列7-4のブロック図であり、本発明は任意の輸送機関（例えば、海上輸送機関、陸上輸送機関等）に利用可能である。駆動列7-4の

この例は電気モータ 7 8, 燃料電池 8 0 及びタービン-発電機 8 2 を含む。この例の直流単極電気モータ 7 8 は、輸送機関の機械的駆動装置 8 6 にエネルギーを供給するモータ軸 8 4 と、直流電流を導くモータ電力入力 8 8 とを有する。この例の SOFC 燃料電池 8 0 は、燃料入力 9 0, 酸化剤入力 9 2, 热排気出力 9 4 及び燃料電池電力出力 9 6 を有する。この例の燃料入力 9 0 及び酸化剤入力 9 2 はそれぞれ、図 1 及び 2 の燃料入力 2 2 及び酸化剤入力 2 4 と同じである。SOFC 8 0 は热排気出力 9 4 から燃料電池熱出力を、また電力出力 9 6 から燃料電池直流電力を供給する。好ましくは、この例の駆動列 7 4 はコスト、サイズ及び重量の点から見て酸化剤入力 9 2 に加圧空気を用いる。

この例の SOFC 8 0 は、燃料と加圧空気を電気化学反応させることによって熱と直流電力を発生させる。本発明は任意のタイプの高温燃料電池に利用可能で

ある。熱排気出力 9 4 からの高温排気ガスは高品質の熱（例えば、この例の SOFC 8 0 では  $900^{\circ}\text{C}$ ）を提供し、タービン-発電機 8 2 によるエネルギーの回収に役立つ。

発電機電力を供給するこの例のタービン-発電機 8 2 は、酸化剤を加圧するコンプレッサ 9 8 と、昇圧直流単極発電機 1 0 0 と、コンプレッサ 9 8 及び直流発電機 1 0 0 を駆動するタービン 1 0 4 とを含む。直流発電機 1 0 0 は燃料電池電力出力 9 6 を受ける発電機入力 1 0 1 と、発電機直流電力を発生させる発電機電力出力 1 0 2 とを有する。タービン 1 0 4 は SOFC 8 0 の熱排気出力 9 4 に相互接続された熱排気入力 1 0 6 を有する。コンプレッサ 9 8 は、酸化剤コントローラ 3 0 に相互接続された酸化剤入力 1 0 8 と、燃料電池酸化剤入力 9 2 に相互接続された酸化剤出力 1 1 0 とを有する。この例のコンプレッサ 9 8 は SOFC 8 0 へ加圧空気を供給する。これにより、熱排気出力 9 4 からのエネルギー回収効率が向上し、また燃料電池電力出力 9 6 の電圧が増加して、SOFC 8 0 の正味効率が増加する。

図 5, 6 及び 7 A - 7 B に関連して以下に詳説するように、直流発電機 1 0 0 は一般的に、燃料電池電力出力 9 6 と直列に接続されている。従って、発電機電力出力 1 0 2 は、発電機入力 1 0 1 が受ける燃料電池電力出力 9 6 を補充して単

極モータ 7 8 の電力入力 8 8 のための直流電力を発生させる。燃料電池発電出力 9 6 は燃料電池出力電圧を有する。発電機電力出力 1 0 2 は発電機出力電圧を有する。実施例の直流発電機 1 0 0 は昇圧された電圧を提供し、これにより燃料電池電力出力 9 6 の電圧が昇圧され発電機電力出力 1 0 2 が得られる。発電機出力電圧は燃料電池電力出力 9 6 の出力電圧に加えられ、単極モータ 7 8 の電力入力 8 8 のための出力が得られる。

この例のターボチャージャ付き SOFC 駆動列 7 4 は、SOFC 8 0 をこの例のタービン-発電機 8 2 の圧縮／膨脹エンジン部に結合して、合理的なコストで高い熱効率を得る。本質的に、この駆動列 7 4 は回転電機が一体化されているため柔軟性が増大している。SOFC 8 0 、タービン 1 0 4 、コンプレッサ 9 8 及び直流発電機 1 0 0 を一体化することにより、直流出力電流が制御可能な高効率の発電が可能となり、この例の単極モータ 7 8 のような広い範囲の負荷へ直結で

きる。この例のタービン 1 0 4 は、排気ガスを出力するタービン排気出力 1 1 2 を用いる。この排気ガスの温度は従来の内燃機関（図示せず）の温度に匹敵する。大型のシステム（例えば、大型の海上プラットフォーム）はこの排気ガスを利用して蒸気または温水を生成させる。他のシステム（例えば、可動プラットフォーム）は、この排気ガスを空気と混合して最終的に放出される排気温度を低下させる。

駆動列 7 4 はさらに、図 2 のコントローラ 4 0 と同様なコントローラ 4 0' を含む。この例のコントローラ 4 0' は制御ライン 6 6 により燃料コントローラ 2 8 を、また制御ライン 6 8 により酸化剤コントローラ 3 5 を制御する。コントローラ 4 0' はさらにコンプレッサ 9 8 の酸化剤出力 1 1 0 を制御する制御ライン 1 1 4 と、発電機界磁電流を調整して直列接続直流発電機 1 0 0 の昇圧電圧が燃料電池電力出力 9 6 へ寄与する度合を制御するための制御ライン 1 1 6 を含む。以下において詳述するように、この制御のかなりの部分はこの昇圧電圧が寄与する度合を制御することにより実現される。さらに、図 2 と同様、コントローラ 4 0' は界磁励磁コントローラ 1 1 8 に接続された制御ライン 6 2 、7 2 により単極モータ 7 8 の界磁電力及び励磁磁界の極性をそれぞれ制御する。このように

して、単極モータ78の励磁磁界（B）と励磁制御電流（ $I_p$ ）が制御される。

この例のコントローラ40'は、発電機電力出力102と単極モータ78の異なる電圧特性を調和させるための2つの制御モードを使用する。他の特定の制御モードも可能であることが分かる。燃料電池電力出力96の電圧は負荷の増加に応じて減少する（例えば、図6の曲線A'を参照）。これとは対照的に、単極モータ78が要求する電圧は速度に関して線形であり、このため負荷と共に増加する。第1の”電圧”制御モードは、0乃至10%の負荷または0乃至46%の定格速度で使用する。第2の”弱め界磁”制御モードは、10%以下の負荷または46%以下の定格速度で用いる。

可変直列抵抗120が発電機電力出力102とモータ電力入力88の間に接続されている。コントローラ40'は制御ライン122によりこの可変抵抗120の抵抗を制御する。電圧制御モードでは、モータ端子電圧（ $V_p$ ）を速度に関して線形的に制御する。抵抗120の抵抗値は、抵抗120と単極モータ78の直

列接続体が発電機電力出力102の電圧変化（例えば、図6の曲線Cを参照）に従うように変化させる。この電圧は電圧制御モードでは主としてSOF C80により制御する。0%の負荷点では、可変抵抗120の抵抗値は最大である。10%及びそれ以上の負荷点では、可変抵抗120は完全に短絡状態（即ち、0オーム）にあり、単極モータ78は発電機電力出力102の電圧で作動する。負荷が0乃至10%の範囲では、モータ端子電圧（ $V_p$ ）は速度に応じて線形的に変化する。当業者は、可変抵抗120をさらに輸送機関76を始動または制動するため使用できることが分かるであろう。

弱め界磁制御モードにおいて、単極モータ78の励磁磁界（B）は界磁制御電流（ $I_p$ ）により決まる。この励磁磁界（B）は最大の”低負荷”値（0乃至10%負荷または0乃至46%定格速度）から減少することにより、発電機電力出力102の正勾配の電圧で作動しながらモータ速度（S）を制御する。好ましくは、単極モータ78は最大の低負荷値で運転するためバーユニットほぼ2.0の励磁制御電流（ $I_p$ ）を与える。

コントローラ40'は3つの比例-積分-微分（PID）制御ループを組み込

んでいる。S O F C 8 0 の時間的制約ファクタは直流单極発電機及び单極モータ7 8 と比べて格段に長いため、主要P I D制御ループがS O F C 8 0 を制御する。この主要P I D制御ループは速度設定点をS O F C 8 0 の出力条件に変換する。この主要P I D制御ループはまた、速度設定点とタコメータ6 0 により感知されるモータ速度(S)の差である速度エラー信号を求める。そして、コントローラ4 0' は制御ライン6 6, 6 8 により速度エラー信号及びS O F C 8 0 の所定の電流能力に応じてそれぞれ燃料流量及び酸化剤流量を設定する。

第2のP I D制御ループは、電圧制御モードを用い(モータ端子電圧(V<sub>T</sub>)を制御することにより)、また弱め界磁制御モードを用い(界磁磁界(B)を制御することにより)モータ速度(S)を制御する。第3のP I D制御ループは、S O F C 8 0 と直列接続の直流発電機1 0 0 を制御して、0乃至1 0 0 %の負荷範囲全体に亘りほぼ一定のモータ端子電圧(V<sub>T</sub>)が得られるようにする(例えば、図6の僅かに正勾配の曲線Cを参照)。

一体化されたS O F C 8 0 と昇圧直流発電機1 0 0 は、図5の概略図に示すよ

うに、出力発生モジュール1 2 4 内におけるエネルギーの回収と制御を可能にする。このため、別の電力調整装置を外部に設ける必要性が有意に減少する。図6は、対応電圧-電流(V-I)曲線を示す。この例のS O F C 8 0 及びタービン-発電機8 2 は補い合って単極モータのための所望の電力出力が得られるようになる。電力出力のピークでは、S O F C 8 0 の電圧及び効率は最低である。この動作点において、ピークエネルギーはS O F C 8 0 の熱排気出力9 4 で得られるため、タービン-発電機8 2 による電圧昇圧の可能性は最大である。電力出力が低下するにつれて、タービン1 0 4 の効率が低下し、電力出力1 0 2 における出力発生モジュール1 2 4 からの出力電圧はS O F C 8 0 のそれに近付く。

図5に示すように、この例の出力発生モジュール1 2 4 の始動及び制御のさらなる柔軟性は燃料入力1 2 6 を有するコンバスター1 2 5 により実現される。コンバスター1 2 5 は、S O F C 8 0 の熱排気出力9 4 とタービン1 0 4 の熱排気入力1 0 6 の間に相互接続されている。この例のコンバスター1 2 5 はS O F C 8 0 の運転温度を最低値(例えば、6 0 0 °C)にするために用いられる。S O F C 8

0は、この温度より上でタービン104へ熱を供給する。コンバスタ125はまた、一部が反応済みの燃料と酸化剤の流れの反応を完了させる。この例のコンバスター125はさらに、タービン104の熱排気入力106の入口温度を最大連続出力運転ができるように上昇させる。

当業者は、さらに別のパラメータを変えたり、構成を変更したりして、制御方法を改善できることが分かるであろう。例えば、可変パラメータとしてSOFC80の電池圧力及び電池温度が含まれる。構成変更の例としては、多数の出力発生モジュール124を直列または並列に並べたり、SOFC80のサブモジュール80A、80B(図7A-7B参照)を直列または並列に並べたり、制御可能なピッチのプロペラ(海上輸送機関用として)、電子的電力コンディショナ、機械的伝達装置、クラッチ及び可変直列抵抗120の使用が含まれる。可変パラメータ、構成の変更及び特定の制御方法の特定の組合せは、特定の用途による。

図6はV-I特性A、A'、B、C、D、E、Fを示す。曲線Aは独立型SOFC発電装置(例えば、図1、2のSOFC8)だけを表わす。曲線A'は加圧された独立型SOFC発電装置(例えば、図4、5のSOFC80)の燃料電池

V-I特性を表わす。燃料電池V-I特性は一般的に、燃料電池電流の増加につれて燃料電池電圧が減少する。曲線E、Fは発電機(例えば、図4、5の発電機100)の2つの例示的なV-I特性を表わす。曲線E、Fは、一般的に発電機電流の増加につれて発電機電圧が増加する。図4のコントローラ40'は、直列接続の直流発電機100の界圧電圧が寄与する度合を制御する制御ライン116により発電機のV-I特性を制御する。この例の発電機100は、燃料電池電圧に正の電圧を加えるための発電機として作動させるか、或いは燃料電池電圧に負の電圧を加える(即ち、燃料電池電圧から正の電圧を差引く)モータとして作動させるかが可能なことを理解されたい。

図5の出力発生モジュール124は、0勾配(曲線B)及び正勾配(曲線C)を含む種々のV-I特性になるように構成できる。0勾配のV-I曲線Bは例えば、調整された一定電圧が必要な船舶用に対応する。勾配が正のV-I曲線Cは例えば、正勾配を必要とする推進用途に対応する。この例の曲線B、Cは例えば

、それぞれ曲線A' とE、またA' とFを加算することによって得られる。これらの曲線の他の多くの種々の組合せ、またはその中間特性若しくは他の曲線（図示せず）が可能であることが分かるであろう。

引き続き図5を参照して、SOFC80から発電機100のアーマチュア（図示せず）を通って電流が流れる。発電機100の界磁磁界は回転するアーマチュアの電流と相互作用してSOFC80の電圧に付加される昇圧電圧を発生させる。ターピン104は発電機100を駆動するトルクを発生させる。その結果得られるモータ電力入力88の出力電圧はターピン-発電機82の負荷範囲に亘り制御可能である。例えば、ターピン-発電機82がSOFC80の電力の40%に当たる電力を供給するのであれば、ターピン-発電機82はSOFC80の電圧をモータ電力入力88の特定の電流レベルで40%だけ昇圧する。例えば、SOFC80への燃料入力90及び酸化剤入力92を変えることによって、電力をさらに制御できる。

直流単極推進モータ78は、出力発生モジュール124への直結に適した直流低電圧装置である。直結推進システムの制御は、図4及び5に開示して上述したように、出力発生モジュール124を単極モータ78の励磁磁界（B）の制御と

組合せて制御することにより実現できる。当業者は、輸送機関の機械的駆動装置86の負荷が大きく変化した場合、ディーゼル発電機セットを付加するか或いは切り離すと同じような態様で別の出力発生モジュール（図示せず）を付加するか或いは切り離すことによって対応できること分かる。出力発生モジュール124と単極モータ78とのこの直結により、従来の電力変換装置に対する必要性が最小限に抑えられる。このため、システムのコスト、重量及び電力損失が減少する。

この例の単極モータ78は一般的に、あらゆる種類のモータのうち最も軽量で、雑音が最低であるという特徴を有する。商船（旅客船）及び軍用船に対する利点としては、雑音が少ないだけでなく雑音低減装置、そのコスト及び重量を回避できるという点がある。さらに、出力発生モジュール124を直結制御はこの例のSOFC80だけでなく他の種類のエネルギー直接変換装置に利用できる。

図 7 A 及び 7 B を参照して、再構成可能なハイブリッド出力発生モジュールの 2 つの例 130, 130' を示す。これらのモジュール 130, 130' は一般的に図 5 の出力発生モジュール 124 と同じである。この再構成は、SOFC80 のサブモジュール 80A, 80B を電気的に再接続し、また昇圧直流単極発電機 100 の個々のアーマチュアの巻線 127A, 127B を電気的に再接続することにより実現される。発電機 100 はハウジング 128 と複数の外部端子 G1-G4 を含む。端子 G1-G2, G3-G4 はそれぞれ、アーマチュアの巻線 127B, 127A に接続されている。SOFC80 はハウジング 129 及び複数の外部端子 S1, S4 を含む。端子 S1-S2, S3-S4 はそれぞれ、サブモジュール 80B, 80A に接続されている。SOFC80 及び発電機 100 は 2 つのリード線 132, 133 によりこの例の単極モータ 131 のような負荷へ負荷電流  $I_A$  と負荷電圧  $V_A$  を供給する。

図 7 A のこの例示的構成により、船の配電用として典型的な比較的高電圧で低電流の特性（図 6 の曲線 D により示す）が得られる。3 つのジャンパー J1, J2, J3 が端子 S3-S2, S1-G4, G3-G2 をそれぞれ接続する。モータ 131 の電流はサブモジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B を流れる。端子 S4-J1 の両端間のモータ 131 の電圧  $V_T$  は、サブ

モジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B にかかる電圧に加算される。従って、この構成はサブモジュール 80A, 80B, アーマチュア巻線 127A, 127B の直列接続体を提供する。

例えば、図 7 B の構成は、図 4 及び 5 に示した直結単極推進システムの用途に典型的な比較的低電圧で高電流の特性（図 6 の曲線 C に示す）を提供する。4 つのジャンパー J4, J5, J6, J7 が端子 S4-S2, S1-G2, S3-G4, G3-G1 をそれぞれ相互接続する。この構成は、モータ 131、直列接続のサブモジュール 80A とアーマチュア巻線 127A、及び直列接続のサブモジュール 80B とアーマチュア巻線 127B の並列接続体を提供する。従って、各対 80A-127A 及び 80B-127B はモータ 131 へ直接、電力を供給する。

この例のジャンパー J 1 - J 7 は、比較的高電圧で低電流の構成（例えば、図 7 A の直流 750 ボルトの船舶用電圧）と比較的低電圧で高電流の構成（例えば、図 7 B の直流 187.5 ボルトの直結推進モータ用電圧）の間で出力発生モジュール 130, 130' を再構成するべく変更可能である。さらに、図 7 B において、この例の単極発電機 100 は内部抵抗が非常に小さいため、サブモジュール 80A, 80B の内部抵抗が、並列接続対 80A-127A, 80B-127B 及び他の並列接続の（図示せず）出力発生モジュール 130 または 130' を流れるであろう循環電流を最小限にする。

図 8 は、図 4 の駆動列 74 及び図 5 の出力発生モジュール 124 の別の実施例を示す。この実施例では、SOFC 80 の燃料電池電力出力 96 と単極発電機 100 の発電機電力出力 102 は並列に接続されている。そして、この並列接続により単極モータ 78 のモータ電力入力 88 へ電流が供給される。発電機出力 102 からの発電機電流は燃料電池出力 96 からの燃料電池電流を補充する。従ってこの並列接続により燃料電池電流へ発電機電流が付加され、モータ入力 88 の直流モータ電流となる。

本発明の特定の実施例を詳細に説明したが、当業者には本明細書及び図面の教示全体から種々の変形例及び設計変更が可能であることが分かるであろう。従って、図示の特定の構成は例示の目的をもつものに過ぎず、本発明の範囲を限定す

るものではなく、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲及び特許請求の範囲の全幅及びその任意そして全ての均等範囲を与えられるべきである。

#### 請求の範囲

- モータ電力入力 (88) を含む、輸送機関 (76) を駆動するための電気モータ手段 (78) と、  
燃料入力 (90), 酸化剤入力 (92), 热排気出力 (94) 及び燃料電池電力出力 (96) を有する、燃料電池電力を与える燃料電池手段 (80) と、  
タービン-発電機出力を与えるためのタービン-発電機手段 (82) であって、  
発電機電力出力 (102) を発生する発電機手段 (100) と、前記発電機手

段（100）を駆動するためのターピン手段（104）とを含み、前記ターピン手段（104）の熱排気入力（106）は前記燃料電池手段（80）の熱排気出力（94）に相互接続され、発電機電力出力（102）が燃料電池電力出力（96）を補充して前記電気モータ手段（78）のモータ電力入力（88）の電力を発生させるターピン発電機手段（82）と、

前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）及び酸化剤入力（92）のうちの少なくとも一方を制御する制御手段（40')とによりなる、輸送機関（76）を駆動する装置（74, 78, 124）。

2. 前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）及び酸化剤入力（92）のうち（88）は直流電流により給電され、燃料電池電力出力（96）は燃料電池電流を有し、発電機電力出力（102）は燃料電池電流に付加されて単極モータ（78）のモータ電力入力（88）の直流電流を形成する発電機電流を有する請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

3. 前記燃料電池手段（80）は固体酸化物燃料電池（SOFC）（80）である請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

4. 前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）は炭化水素燃料を用いる請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

5. 前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）は水素、一酸化炭素、水素及び一酸化炭素の混合物よりなる群から選択された燃料を用いる請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

6. 前記輸送機関（76）は海上輸送機関（76）であり、前記燃料電池手段（80）の酸化剤入力（92）は燃料電池酸化剤入力（92）であり、前記ターピン発電機手段（82）はさらに酸化剤を加圧するためのコンプレッサ手段（98）を含み、前記コンプレッサ手段（98）は酸化剤入力（108）と、燃料電池酸化剤入力（92）に相互接続された酸化剤出力（110）とを有し、前記ターピン手段（104）はさらに前記コンプレッサ手段（98）を駆動し、前記制御手段（40')はさらにコンプレッサ酸化剤入力（108）を制御する請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

ビン発電機手段（82）はさらに酸化剤を加圧するためのコンプレッサ手段（98）を含み、前記コンプレッサ手段（98）は酸化剤入力（108）と、燃料電池酸化剤入力（92）に相互接続された酸化剤出力（110）とを有し、前記ターピン手段（104）はさらに前記コンプレッサ手段（98）を駆動し、前記制御手段（40')はさらにコンプレッサ酸化剤入力（108）を制御する請求項1に記載の装置（74, 78, 124）。

7. 前記制御手段（40<sup>一</sup>）は前記燃料電池手段（80）の燃料入力（90）を制御する燃料制御手段（28）と、前記コンプレッサ手段（98）の酸化剤出力（110）を制御する酸化剤制御手段（40<sup>一</sup>，114）を含む請求項6に記載の装置（74，78，124）。

8. 前記電気モータ手段（78）は界磁電流を有し、前記制御手段（40<sup>一</sup>）はさらに前記電気モータ手段（78）の界磁電流を制御する界磁制御手段（118）を含む請求項7に記載の装置（74，78，124）。

9. 前記電気モータ手段（78）は単極モータ（78）であり、単極モータ（78）のモータ電力入力（88）は直流電流により駆動され、前記発電機手段（100）は単極発電機（100）であり、単極発電機（100）の発電機電力出力（102）は直流発電機電流を有し、燃料電池電力出力（96）は直流発電機電流に付加されてモータ電力入力（88）のための直流電流を形成する燃料電池直流電流を有する請求項8に記載の装置（74，78，124）。

10. 前記タービン手段（104）は前記燃料電池手段（80）の熱排気出力（94）に相互接続されたコンバスタ手段（125）を含む請求項6に記載の装置（124）。

11. 前記輸送機関（76）は陸上輸送機関（76）であり、前記燃料電池手段（80）の酸化剤入力（92）は燃料電池酸化剤入力（92）であり、前記タービン-発電機手段（82）はさらに酸化剤を加圧するためのコンプレッサ手段（98）を含み、前記コンプレッサ手段（98）は酸化剤入力（108）と、燃料電池酸化剤入力（92）に相互接続された酸化剤出力（110）とを有し、前記タービン手段（104）はさらに前記コンプレッサ手段（98）を駆動し、前記制御手段（40<sup>一</sup>）はさらにコンプレッサ酸化剤入力（108）を制御する特

求項1に記載の装置（74，78，124）。

12. 前記電気モータ手段（78）は単極モータ（78）であり、単極モータ（78）のモータ電力入力（88）は直流電流により駆動され、前記発電機手段（100）は単極発電機（100）であり、単極発電機（100）の発電機電力出力（102）は直流発電機電流を有し、燃料電池電力出力（96）は直流発電機

電流に付加されてモータ電力入力（88）のための直流電流を形成する燃料電池  
直流電流を有する請求項11に記載の装置（74，78，124）。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		Initial Application No PCT/US 95/10481	
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 B60L11/18 H01MB/04			
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC			
B. FIELDS SEARCHED			
Maximum documentation searched (classification system followed by classification symbol) IPC 6 B60L H01M			
Documentation searched other than maximum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched			
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)			
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category <sup>a</sup> : Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passage		Relevant to claim No.	
X	DE,C,43 22 765 (DAIMLER BENZ AG) 16 June 1994	1-8	
A	see the whole document ---	9,14,19	
X	JP,A,06 223 851 (FUJI ELECTRIC CO LTD) 12 August 1994 & PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 18 no. 586 (E-1627) ,9 November 1994 see abstract ---	9-18	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017 no. 199 (E-1352) ,19 April 1993 & JP,A,04 342961 (ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD) 30 November 1992, see abstract ---	19,20	
	-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.	
* Special categories of cited documents:			
'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance			
'E' earlier document but published on or after the international filing date			
'L' document which may throw doubt on priority claimed(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)			
'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means			
'P' document published later to the international filing date but later than the priority date claimed			
'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the practice or theory underlying the invention			
'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone			
'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents or such combination being obvious to a person skilled in the art			
'G' document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report		
7 November 1995	17. 11. 95		
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 8013 Patenamtstrasse 2 NL - 2230 HT Riswick Tel. (+31-70) 360-2000, Tx. 31 651 epo nl. Fax. (+31-70) 340-3016	Authorized officer		
		Bourbon, R	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l. Appl. No.	Serial No.
PCT/US 95/10481	

## C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006 no. 243 (E-145) ,2 December 1982 & JP,A,57 143269 (SHINKOUBE DENKI KK) 4 September 1982, see abstract -----	6,15
A	EP,A,0 052 265 (SIEMENS AG ;GABLER ING KONTOR LUEBECK (DE)) 26 May 1982 see the whole document -----	7,14,16

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

## Information on patent family members

Int'l Appl'n No.
PCT/US 95/10481

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-C-4322765	16-06-94	EP-A- 0633157 JP-A- 7075214	11-01-95 17-03-95
JP-A-06223851	12-08-94	NONE	
EP-A-0052265	26-05-82	DE-A- 3043692 JP-C- 1631758 JP-B- 2054627 JP-A- 57111963 US-A- 4407903	30-09-82 26-12-91 22-11-90 12-07-82 04-10-83

---

フロントページの続き

(72) 発明者 テイラー, オーウェン, エス  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
15644, ジネット, リッジ・ロード 1723

(72) 発明者 バシロウ, セオドル, アール  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
15642, アーウィン, フェアビュー・ドラ  
イブ 207 アールディー・ナンバー・シ  
ックス

(72) 発明者 ウォルフェ, アーサー, エル  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
15668, マリスピル, メイヤー・ドライブ  
3482

(72) 発明者 ピエール, ジョセフ, エフ  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
16059, パレンシア, サンディヒル・ロー  
ド 568

(72) 発明者 ウィス, ジョン, ダブリュ  
アメリカ合衆国, ペンシルベニア州  
15241, ビッツバーグ, ブロックデール・  
ドライブ 3316